

Model 3D del subsòl de la ciutat de Barcelona a partir de la plataforma M.App Enterprise

Tesina final de màster

Col·laboradors:



HEXAGON

màster en
geoinformació
aplicacions i gestió



acefat
infraestructures de serveis públics



ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

JULIOL 2020

Autor: Albert Juan Flamarich

Tesina dirigida per Ariadna Just Orriols

Amb la participació de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé

ÍNDEX

RESUM	6
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓ	8
1.1. Antecedents	8
1.2. Marc institucional	10
1.2.1. Projectes precedents	10
1.2.2. Conveni de col·laboració	10
2. ESTAT DE LA QÜESTIÓ	11
2.1. Definició de model 3D y conceptes clau	11
2.2. Breu història de la modelització 3D	12
2.3. La tecnologia 3D en el futur	13
2.4. Plataforma M.App Enterprise	13
3. OBJECTIUS DEL PROJECTE	16
3.1. Objectiu general	16
3.2. Objectius específics	16
4. DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE	16
4.1. Fonts d'informació	17
4.1.1. Edificacions i infraestructures del subsòl	17
4.1.2. Model Digital del Terreny	18
4.2. Tractament de les geometries	20
4.2.1. Model Digital del Terreny	20
4.2.2. Cartografia cadastral	20
4.2.3. Tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé	21
4.3. Semàntica de les dades i simbologia	23
4.4. Resultats	25

4.4.1. Model 3D general del subsòl de la ciutat de Barcelona	25
4.4.2. Model 3D del subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	34
5. CONCLUSIONS	40
REFERÈNCIES TÈCNIC-CIENTÍFIQUES	36
Bibliografia	41
Enllaços web	42

ÍNDEX DE FIGURES I TAULES

Figures

Figura 1.	Components de la plataforma “M.App Enterprise”	13
Figura 2.	Àmbit espacial de les dades de la Dra. Rosina	16
Figura 3.	Seu electrònica del Cadastre	17
Figura 4.	Model digital del terreny de l'àrea objecte de modelització	17
Figura 5.	Components que intervenen en una captura de dades LiDAR	18
Figura 6.	Núvol de punt LiDAR ajustada a la secció objecte de modelització	19
Figura 7.	Simbologia de les profunditats de les edificacions del subsòl de tot el conjunt de la ciutat de Barcelona	23
Figura 8.	Simbologia de les profunditats de les edificacions del subsòl de la secció ubicada en el districte de Sant Martí (Barcelona)	23
Figura 9.	Simbologia de les diferents infraestructures que proporcionen servei a la secció representada dins del districte de Sant Martí (Barcelona)	23
Figura 10.	Visualització zenital 3D de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona	24
Figura 11.	Composició de cinc escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona	25
Figura 12.	Composició de quatre escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona	26
Figura 13.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona	27
Figura 14.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona	28
Figura 15.	Composició de quatre escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons	29
Figura 16.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons	30
Figura 17.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons	31

Figura 18.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons	32
Figura 19.	Visualització zenital 3D de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	33
Figura 20.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	34
Figura 21.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	35
Figura 22.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	36
Figura 23.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	37
Figura 24.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)	38
Figura 25.	Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona) amb el model digital del terreny de fons	39

Taules

Taula 1.	Detall d'arxius CAD proporcionat per la Dra. Rosina Vinyes Ballbé	20
Taula 2.	Detall de profunditats de cada edificació i infraestructura a partir de les dades de la tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé	21
Taula 3.	Detall de les seccions de les infraestructures dels serveis a partir de les dades de la tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé	22

RESUM

El present treball s'emmarca dins del Màster en Geoinformació impartit per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Neix com a resultat del conveni de col·laboració educativa entre l'empresa Acefat i la UAB.

La tercera dimensió s'ha mostrat en els darrers anys com un camp amb molta potencialitat dins de la informació geogràfica. La utilitat de les seves aplicacions ha fet que la cartografia urbana progressivament hagi anat incorporant aquesta dimensió en les seves representacions.

Dins d'aquest context de canvi es planteja aquest projecte que relaciona la modelització 3D i els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG). El projecte té el propòsit d'utilitzar aquesta tercera dimensió per posar a prova les capacitats del nou portafoli Luciad que s'ha incorporat a la plataforma M.App Enterprise d'Hexagon. Aquesta es durà a terme mitjançant la creació d'un model 3D dels diferents elements que vertebrin el subsòl de la ciutat de Barcelona a partir de les dades generades per la Dra. Rosina Vinyes Ballbé en la seva tesi doctoral titulada "Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània".

Paraules clau: Subsòl 3D, modelització 3D, M.App Enterprise, SIG, tercera dimensió, cartografia 3D del subsòl

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca dentro del Máster en Geoinformación impartido por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). Nace como resultado del convenio de colaboración educativa entre la empresa Acefat y la UAB.

La tercera dimensión se ha mostrado en los últimos años como un campo con mucha potencialidad dentro de la información geográfica. La utilidad de sus aplicaciones ha hecho que la cartografía urbana progresivamente haya ido incorporando esta dimensión en sus representaciones.

Dentro de este contexto de cambio se plantea este proyecto que relaciona la modelización 3D y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El proyecto tiene el propósito de utilizar esta tercera dimensión para poner a prueba las capacidades del nuevo portafolio Luciad que se ha incorporado a la plataforma M.App Enterprise de Hexagon. Esta se llevará a cabo mediante la creación de un modelo 3D de los diferentes elementos que vertebran el subsuelo de la ciudad de Barcelona a partir de los datos generados por la Dra. Rosina Viñas Ballbé en su tesis doctoral titulada "Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània".

Palabras clave: Subsuelo 3D, Modelización 3D, M.App Enterprise, SIG, Tercera dimensión, Cartografía 3D del subsuelo

ABSTRACT

This document is part of the Master at Geoinformation of Autonomous University of Barcelona (UAB) and Cartographic and Geological Institute of Catalonia (ICGC). It was born as a result of the educational collaboration agreement between the company Acefat and Autonomous University of Barcelona.

The third dimension has been shown in recent years as a field with great potential within geographic information. The usefulness of its applications has meant that urban cartography has progressively incorporated this dimension into its representations.

Within this context of change, this project relates to 3D modelling and Geographic Information Systems (GIS). The project intends to use this third dimension to test the capabilities of the new technology Luciad that has been incorporated into the M.App Enterprise platform of Hexagon. This will be carried out by creating a 3D model of the different elements that form the subsoil of the city of Barcelona. The data for the creation of the 3D model comes from the doctoral thesis of Dra. Rosina Vinyes Ballbé titled “Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània”.

Keywords: Subsoil 3D, 3D modelling, M.app Enterprise, SIG, Third dimension, 3D cartography of the subsoil

1. INTRODUCCIÓ

Les representacions cartogràfiques bidimensionals s'han utilitzat des de temps immemorials com un mitjà de comunicació visual per mostrar la informació del territori, és a dir, per descriure les relacions espacials sobre la superfície. Els suports utilitzats han estat molt diversos (roques, paper, digital, etc.) però sense tenir en compte això, el resultat d'aquestes representacions sempre han mostrat el mateix: la visió plana del món que ens envolta. Aquesta visió en dos dimensions ha estat, y segurament ho continua sent, molt necessària perquè permet fer una abstracció simbòlica d'algun fet de la realitat, y per tant, una representació simplificada i generalitzada d'aquesta, però desafortunadament aquesta es troba incapacitada per mostrar la tercera dimensió dels objectes: la profunditat.

La tercera dimensió, en els darrers anys, s'ha tornat tendència perquè disposa d'una gran versatilitat i possibilitats infinites molt riques en quant a matisos. Poder transformar les representacions bidimensionals a tridimensionals confereix moltes avantatges en el moment de dissenyar la planificació urbana o la política del sòl d'un territori. Per això no és d'estranyar que els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) comencin a implementar aquesta visió en el seu haver per poder generar representacions tridimensionals totals o parcials d'allò que es troba sobre la superfície o sota d'aquesta.

Un exemple d'aquest fer és M.App Enterprise, una plataforma de la multinacional Hexagon dissenyada per crear aplicacions geoespaciales (GIS), que ha estat millorada amb la implementació tecnològica de Luciad per permetre als seus usuaris unificar el millor d'ambdues tecnologies en una de sola, podent connectar-se, visualitzar i examinar dades vectorials i ràster basats en arxius 3D, i d'aquesta forma generar solucions verticals.

El present projecte neix amb el propòsit de posar a prova les capacitats del nou component Luciad mitjançant la creació d'un model tridimensional dels diferents elements que vertebrin el subsòl de la ciutat de Barcelona. Per a la seva elaboració s'utilitzaran les dades generades per la Dra. Rosina Vinyes Ballbé en la seva tesi doctoral titulada "Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània".

1.1. Antecedents

L'objecte més característic de la ciutat és, indubtablement, l'edifici. Una construcció que unida a altres tenen la capacitat d'explicar el fet urbà. Però, desafortunadament, aquest coneixement de la realitat urbana es troba alterada o millor dit esbiaixada. Això és així, perquè tots els treballs que s'han dut a terme des de molt diverses disciplines per conèixer la ciutat s'han centrat exclusivament en allò que es veu, el que s'assenta sobre la superfície, descartant tot allò que es troba sota d'ella, el subsòl.

El subsòl és l'espai que acull totes les infraestructures imprescindibles (transport, sanejament i distribució, o aparcament) per al bon funcionament de la ciutat (Gil, et al., 1998), alleujant d'aquesta manera la ja sobrecarregada trama urbana de la superfície. Aquest fet, li confereix al

subsòl un paper rellevant, trencant el seu aïllament, els seus límits, per passar de ser allò que es troba fora de la ciutat a ser part d'ella, com un únic espai indissoluble.

El trencament de la concepció funcionalista del subsòl, tendència que es va iniciar a partir dels anys 70, respon precisament a la seva potencialitat per donar resposta als nous reptes que havia d'afrontar la ciutat contemporània. Aquesta nova visió va obrir un període de construcció, no només en alçada sinó també en profunditat, amb el propòsit d'entrellaçar tots dos espais. Per primera vegada, en l'àmbit de la ciutat van convergir dos mons que havien evolucionat per separat però en paral·lel. L'espai subterrani es converteix en objecte de disseny de la planificació i ordenació del territori per aprofitar al màxim el seu potencial i enriquir l'espai urbà.

Aquesta voracitat constructiva, unida a una manca de visió global de ciutat, va comportar un aprofitament del subsòl caracteritzat per una absència de control i seguiment del procés, donant com a resultat una ocupació de l'espai sota rasant dispers i amb mosaics de formes, mides i profunditats molt variades.

Aquesta manca de visió de conjunt ha fet que a data d'avui encara no hi hagi un mapa de síntesi de l'espai urbà subterrani de la Ciutat de Barcelona on es mostri les diferents construccions existents, tant sota el sòl de titularitat pública com sota el sòl de titularitat privada (Rosina, 2015). Sota aquest context, resulta evident que per molt que es vulgui dur a terme una planificació i ordenació del territori sota la premissa d'un procés planificat de naturalesa política, tècnica i administrativa, amb l'objectiu principal d'organitzar, harmonitzar i administrar l'ocupació i ús de l'espai, de manera que aquests contribueixin al desenvolupament humà, ecològicament sostenible, espacialment harmònic i socialment just (Molina, 2007), aquesta seguirà sense ser una estratègia vàlida per afrontar els reptes urbans.

Perquè aquesta concepció de planificació i ordenació compleixi el seu propòsit, s'ha d'iniciar un procés per revertir aquesta desinformació. La ciutat de Barcelona el va iniciar al 1990 amb la creació de l'empresa Acefat, empresa participada pel mateix Ajuntament de Barcelona i les diverses empreses de serveis existents en aquell moment, amb el propòsit desenvolupar un projecte de gestió integrada de les obres de serveis que es duen a terme a sota rasant de l'espai públic de la ciutat (Rosina, 2015). Gràcies a la feina feta per Acefat hi ha, per una banda, un control i seguiment de les construccions sota el sòl públic, i per l'altre, accés a les dades d'aquestes sota una mateixa plataforma d'informació.

Malauradament aquesta situació és ben diferent quan es tracta del subsòl de l'espai privat. Més enllà de saber el número de plantes sota una parcel·la, informació que es pot extreure de la base de dades del cadastre, encara no ha sorgit cap iniciativa homònima a Acefat per realitzar la mateixa funció, amb el propòsit final poder unir en una sola cartografia tots dos àmbits espacials. I com apunta Rosina (2015), l'únic disseny gràfic sobre el subsòl és el que proporciona el propi cadastre i el principal problema que presenta aquesta institució és la poca credibilitat de les seves dades publicades amb la realitat construïda.

En definitiva, a dia d'avui, Barcelona continua sense tenir una cartografia completa sobre el que hi ha sota de la seva superfície, i es fa necessari revertir aquest situació per enfortir la planificació i ordenació del seu espai urbà. És important disposar d'una adequada i completa cartografia del subsòl per permetre no només determinar com s'està ocupant el subsòl i interpretar el fet urbà, sinó també reconèixer quins són espais d'oportunitat per millorar el benestar i la qualitat de vida dels barcelonins.

1.2. Marc institucional

El propòsit d'aquest apartat es doble, per un costat, si és el cas, fer una relació de tots aquells treballs predecessors que aborden la mateixa temàtica que tracta el present projecte, i per l'altre, fer una presentació de les diferents institucions participants en el conveni signat i donar un detall del que aporta cadascuna d'elles per assolir el repte plantejat i motivador d'aquesta col·laboració.

1.2.1. Projectes precedents

Des de que té vigència el màster, 18 edicions com a títol propi i 5 edicions com a títol oficial, s'han dut a terme diversos projectes on l'eix central sobre el qual pivotaven aquests era la modelització en 3D, però mai cap que es centrés en el subsòl. És aquesta condició d'excepcionalitat, la cerca per ampliar el coneixement de la complexitat de la ciutat contemporània a través de l'anàlisi del subsòl de la ciutat de Barcelona, que li confereix a aquest projecte un valor afegit únic i diferenciador respecte a la resta de projectes prèviament elaborats sota el paradigma de la tercera dimensió. És per això, que el projecte obre les portes a un àmbit d'estudi per explorar i s'espera que esdevingui precursor de futurs treballs que li donin continuïtat per ajudar al seu manteniment i perfeccionament.

1.2.2. Conveni de col·laboració

Les institucions signants del conveni de col·laboració educativa per dur a terme aquest projecte són, per un banda, Acefat, organització sense ànim de lucre que neix a 1990 amb el propòsit de participar en la gestió de les obres de serveis que es duen a terme a l'espai públic de la ciutat de Barcelona. Els objectius que persegueix assolir són: minimitzar l'impacte de les obres sobre el territori, les persones i les activitats, reduir la quantitat d'obres mitjançant l'alineament de les planificacions de les diferents companyies per tal de fomentar la coincidència en el temps de totes les intervencions, i millorar la qualitat urbana de les intervencions, amb especial incidència en aquells aspectes associats a la prevenció de riscos d'accidents, garantia de subministrament i molèsties a les persones.

I per l'altre, l'associació entre la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). La UAB és una institució educativa pública que es constitueix de forma oficial el 6 de juny de 1968 amb la idea de dur a terme un model universitari respectuós amb els principis bàsics d'autonomia, participació i compromís social.

Actualment la UAB ofereix estudis en tots els àmbits de coneixement i la seva docència es troba extremadament lligada a les activitats de recerca. Pel que fa a l'ICGC, aquesta entitat de dret públic, personalitat jurídica pròpia, autonomia administrativa, tècnica i econòmica que va entrar en funcionament al febrer de 2014 com a resultat de la dissolució de l'Institut Cartogràfic de Catalunya i de l'Institut Geològic de Catalunya, té atribuïdes totes aquelles funcions relacionades amb l'exercici de les competències sobre geodèsia i cartografia i sobre la infraestructura de dades espacials de Catalunya, i també les d'impulsar i dur a terme les actuacions relatives al coneixement, la prospecció i la informació sobre el sòl i el subsòl, en els termes establerts per la Llei 16/2005, de 27 de desembre, de la informació geogràfica i de l'Institut Cartogràfic de Catalunya, i per la Llei 19/2005, de 27 de desembre, de l'Institut Geològic de Catalunya.

La UAB-ICGC aporta la persona que durà a terme el projecte, en aquest cas, un alumne que està cursant el màster de Geoinformació, concretament, la especialització de gestió de la geoinformació, una formació superior encaminada per capacitar a la persona a idear, crear i gestionar productes i serveis d'informació geoespacial que constitueixin oportunitats d'utilització, de prestació de serveis o de negoci mitjançant l'ús d'informació geoespacial.

Acefat ofereix el projecte que desenvoluparà l'alumne, les dades per dur-lo a terme i la infraestructura tècnica i tecnològica perquè aquest assoleixi el repte plantejat per l'empresa. La part encarregada del suport tècnic i tecnològic serà Hexagon mitjançant la plataforma SIG GeoMedia. Hexagon és un gegant de les tecnologies de la informació que ajuda a Acefat a administrar i analitzar la seva informació geoespacial. Pel que fa a les dades, aquestes no seran pròpies d'Acefat sinó de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé, gràcies al conveni de col·laboració que han signat totes dues parts, precisament per mostrar interessos comuns per donar continuïtat al treball realitzat per la pròpia Dra. Vinyes.

2. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

2.1. Definició de model 3D y conceptes claus

En el món de la computació, un model 3D és un entorn de tres dimensions: alçada, amplada i profunditat, i es pot veure des de dos perspectives, la tècnica i la visual. A la primera, el model tridimensional és el producte d'un procés de desenvolupament d'una representació matemàtica de qualsevol objecte viu o inanimat a través d'un programari molt especialitzat, mentre que en la segona, el model 3D no és més que una representació esquemàtica observable a través de la unió d'un conjunt d'objectes, elements i propietats que, un cop processats (renderització), es convertiran en una imatge en 3D o una animació 3d.

Per parlar de model tridimensional és fa necessari conèixer alguns conceptes claus però bàsics sobre aquesta temàtica:

- » Els vèrtexs, són bàsicament punts amb coordenades espacials.
- » Les arestes, són les línies que uneixen dos vèrtexs.

- » Les cares o polígons, és la superfície que es compon com a mínim de tres vèrtex e tres arestes.
- » La malla, és el conjunt de polígons que conformen un objecte 3D, o una part d'ell.

Un punt, també conegut com a vèrtex, és el component més bàsic del model 3D. Cada vèrtex existeix en l'espai segons unes coordenades concretes: X, Y i Z. Com els punts no tenen alçada, amplada o profunditat per si mateixos, no poden processar-se, però quan dos punts es connecten es dibuixa una línia, i quan ho fan tres punts, aquests es poden convertir en cantonades o superfícies d'un polígon. I finalment quan s'uneixen totes les superfícies es genera l'objecte 3D. Davant d'això, es pot afirmar que sense els punts, els model 3D no podrien existir.

2.2. Breu història de la modelització 3D

La introducció de la tercera dimensió a les imatges va ser gràcies a la indústria cinematogràfica en el seu afany constant per recrear ambients el més semblants a la realitat. Aquest exercici va portar als cineastes de finals de segle XIX i principis del segle XX a buscar els mètodes i les tècniques que els ajudessin a convertir les seves pel·lícules en el reflex del que ells mateixos observaven al mirar al seu entorn.

Tot i la motivació de la indústria cinematogràfica per avançar en aquest camp, van ser les empreses aeronàutiques les pioneres de la modelització 3D gràcies al seu poder econòmic i a les seves capacitats i enginyers tecnològics. De la seva mà es van aconseguir importants avanços, com augmentar l'emmagatzematge intern, incrementar la velocitat del processament de la informació, així com la millora dels monitors, impressores, etc., podent d'aquesta manera millorar tant la resolució com les capacitats per a la manipulació de la imatge.

Els primers èxits en aquest camp es van produir a finals dels anys 60 amb l'aparició dels programes de computació gràfica creats pel Departament d'Informàtica de la Universitat de UTAH. El programari de la Universitat de UTAH va esdevenir el punt de partida i suport per a tots aquells que volien innovar en el modelatge 3D (Charro i Valencia, 2007).

El concepte de modelatge 3D o computació gràfica va arrencar definitivament en la dècada dels 70 amb l'aparició de programes d'animació d'imatges bidimensionals, programes de producció d'imatges tridimensionals, ombrejat, il·luminació, mapejat de textures i modelat tridimensional (Charro i Valencia, 2007). Ja des de la seva aparició, tota aquesta nova tecnologia va captivar a professionals de tots els àmbits i especialitats gràcies a la seva capacitat per generar una imatge i permetre la seva modificació. D'aquestes noves tecnologies es va crear la primera animació 3D en un curtmetratge titulat "A Computer Animated Hand" d'Edwin Catmull i Fred Parke, realitzada a partir de la digitalització d'un motlle d'escaiola.

A la dècada dels 80, van entrar a escena els primers programes que permetien pintar objectes, es van refinar els programes d'animació bidimensional i es va començar a experimentar amb l'animació tridimensional. Va ser un període que es va caracteritzar pel "boom" de les empreses dedicades a la computació gràfica (Charro i Valencia, 2007). Una d'elles

va ser l'empresa de Mathematical Applications Group Inc, que va dissenyar el programari anomenat "Synthavision", a partir del qual es va poder dur a terme la pel·lícula Tron.

Aquesta tecnologia finalment va esclatar a la dècada dels 90 amb l'aparició d'una gran varietat de programaris i maquinari d'última generació per a la manipulació d'imatges que es caracteritzava per ser de molt fàcil utilització per a l'usuari final. La fita d'aquests avenços, i que va marcar un abans i un després en la tecnologia 3D, es va donar el 1995 amb l'estrena de la pel·lícula Toy Story, el primer llargmetratge generat íntegrament amb animació 3D.

En la actualitat, la modelització dels objectes en 3D no és exclusiu de la indústria cinematogràfica, audiovisual o la dels videojocs. La seva aplicació va molt més enllà del sector audiovisual i ja està sent implementada en àmbits com la construcció, planificació territorial o la medicina. En el cas dels arquitectes, les representacions 3D són de vital importància perquè els permet construir un edifici i modificar parts d'aquest abans d'executar l'obra. Al geògraf li permet fer anàlisis visuals molt més avançats i canviar la seva forma d'encarar els processos de planificació i el disseny de l'execució de les activitats humanes. En quant a la medicina, les representacions 3D permeten a una metgessa poder preparar una intervenció abans de dur-la a terme, ajudant a minimitzar els possibles imprevistos que puguin sorgir durant la intervenció al pacient.

2.3. La tecnologia 3D en el futur

Donada la velocitat a la qual es van creant les revolucions de la informació, de la computació i de les telecomunicacions es fa molt difícil pronosticar o fer una projecció a mig i llarg termini del que serà aquest camp. El que sí resulta evident, arran d'aquesta ràpida evolució, és que canviaran els mitjans d'adquisició, manipulació, emmagatzematge i transmissió de la informació 3D. És a dir, es presentaran més possibilitats d'interacció entre aquesta i l'usuari, podent arribar a accedir al món virtual a través d'una transferència de la consciència del propi individu (Villarreal, et al., 2000).

2.4. La plataforma M.App Enterprise

M.App Enterprise és un producte de la multinacional tecnològica Hexagon que proporciona una plataforma geoespacial unificada que permet crear aplicacions que s'adaptin a les necessitats i requisits específics de cada usuari. A més, compta amb una arquitectura que utilitza un SIG centralitzat perquè tots els usuaris puguin treballar col·laborativament.

La plataforma combina les millors característiques disponibles dels productes de la divisió geoespacial d'Hexagon (per exemple, serveis de lliurament optimitzats per a imatges i dades vectorials, serveis de flux de treball i serveis de geoprocessament) amb l'experiència millorada de l'aplicació Smart M.Apps.

M.App Enterprise consta dels següents components (Figura 1):

- » **M.App Enterprise Studio.** Es tracta d'un entorn web en què els desenvolupadors d'aplicacions poden dissenyar, configurar i administrar els seus Smart M.Apps empresarials.
- » **Content.** La plataforma pot realitzar connexions a diferents tipus de proveïdors tant interns com externs per nodrir-se de continguts. Actualment s'admeten els següents tipus de contingut:
 - Imatges. Conjunts de dades internes disponibles per a les aplicacions.
 - Dades vectorials. Dades vectorials pròpies que es troben disponibles fent connexions directes a la base de dades d'Oracle, Microsoft SQL Server o PostGIS.
 - Geoserveis. Serveis OGC WMS, WMTS i WFS creats a partir de contingut intern o extern que permet la visualització de mapes de forma dinàmica en la web y, al mateix temps, obtenir la informació bàsica que representen; i serveis d'assignació de base (OpenStreetMaps i Here Maps), que també poden estar disponibles.

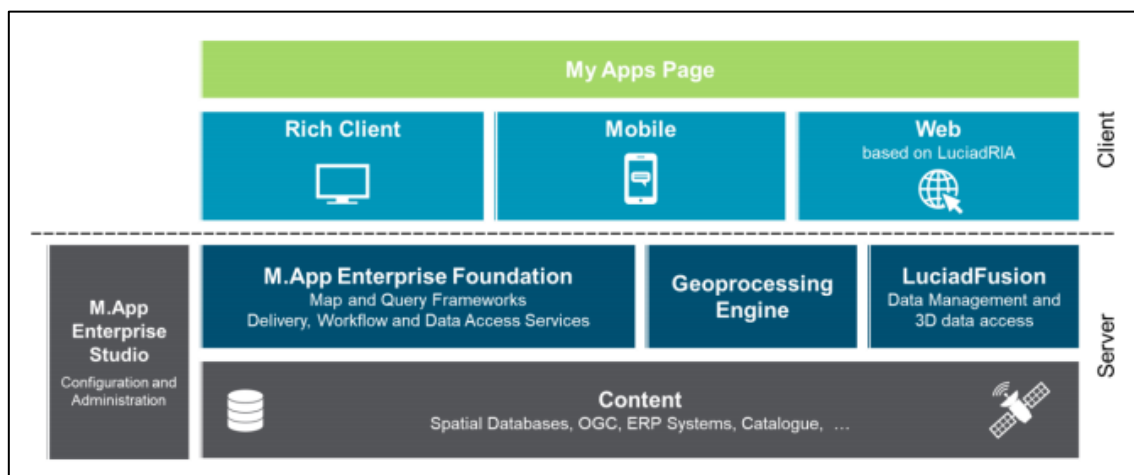


Figura 1: Components de la plataforma M.App Enterprise. **Font:** Hexagon.

- » **M.App Enterprise Foundation.** La capa base de M.App Enterprise proporciona els marcs de mapes i consultes, així com els serveis bàsics de lliurament, flux de treball i accés a dades.
- » **Geoprocessing engine.** L'arquitectura que hi ha al darrere consisteix en diverses construccions clau: operadors, models espacials, serveis web, i Smart M.Apps. El motor de geoprocessament es troba separat de la capa base per garantir el màxim rendiment de l'aplicació i la protecció del propi treball contra altres tasques de geoprocessament que es puguin executar.

- » **LuciadFusion.** Aquesta utilitat permet administrar les dades de manera intel·ligent, emmagatzemar i processar una gran varietat de formats, i alimentar a les aplicacions amb un gran nombre de dades. Les principals característiques són la potent catalogació automatitzada i la ràpida i senzilla publicació de les dades, permetent dissenyar, representar, processar i configurar mapes avançats amb uns pocs clics.
- » **My Apps Page.** Aquest espai proporciona accés a totes les aplicacions que s'assignen a un usuari, sense importar el tipus d'aplicació. Un cop connectat, cada usuari només tindrà accés a les aplicacions que s'assignen al seu paper.

El tipus d'aplicacions que hi ha va en funció al tipus de client:

- El client d'escriptori. Aquesta plataforma proporciona un complet conjunt de funcionalitats SIG dissenyades per a usuaris semi-professionals.
- El client de navegador. Aquesta plataforma proporciona una comprensió més profunda de les dades i permet als no experts en SIG aprofitar el poder de les dades geoespacionals en 2D i 3D.
- Aplicacions natives per accedir des de dispositius mòbils (iOS i Android).

Luciad és una de les tecnologies de nova adquisició de la companyia Hexagon Geospatial i peça clau de la plataforma M.App Enterprise. Això és així perquè un dels aspectes més interessants de Luciad és el seu fort enfocament a la dimensió temporal, el que significa que a més de dimensió espacial, la quarta dimensió passa a tenir un paper protagonista, amb enormes possibilitats de visualització i anàlisi, especialment per el món del Big Data.

La clau de l'èxit de Luciad té a veure amb l'ús d'una Unitat de Processament Gràfic (GPU). La GPU representa precisament el cor d'una targeta gràfica al igual que la Unitat Central de Processament (CPU) ho fa en un ordinador. A part de ser el cor, també és el cervell, ja que és l'encarregada de realitzar tots els càlculs complexos per alleugerir la càrrega de treball de la CPU en videojocs o aplicacions interactives 3D.

Tot i que amb Luciad es pot desenvolupar qualsevol tasca pròpia d'un SIG, Hexagon vol anar un pas més enllà per donar un salt qualitatiu, apostant fort per la visualització en temps real i el processament enfocat al Big Data i 4D, tant en entorns d'escriptori com Web, per poder realitzar anàlisis visuals molt més avançats. Amb això busquen oferir als seus clients solucions intel·ligents "d'intel·ligència de localització" en temps real, i per assolir aquesta fita digital, Hexagon aporta l'enfocament de les 5 dimensions (5D) de la intel·ligència de localització:

- » Què va passar? Conèixer que va passar observant les dades del passat.
- » Què està passant? Saber què està passant ara mateix en temps real.
- » Què podria ser? Realitzar simulacions per conèixer les alternatives possibles.
- » Què hauria de ser? Identificar la millor opció mitjançant l'optimització.

- » Què serà? De forma autònoma el sistema decidirà quina és la millor alternativa i prendrà la decisió.

Actualment, la plataforma M.App Enterprise té la capacitat d'unir les dades estàtiques amb les dinàmiques i convertir-se en el referent per a realitzar anàlisis d'exterior i interior, sobre la superfície o sota ella, i aplicable en qualsevol àmbit (terra, mar i aire). En definitiva, és tracta d'un software que permet a l'usuari passar de la realitat digital (dades estàtiques) a la realitat digital intel·ligent, basada en la presa de decisions autònomes, incorporant informació en temps real.

3. OBJECTIUS

3.1. Objectiu general

El projecte té el propòsit de crear el model tridimensional dels diferents elements que vertebraven el subsòl de la ciutat de Barcelona a partir de les dades generades per la Dra. Rosina Vinyes Ballbé en la seva tesi doctoral titulada "Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània" mitjançant la plataforma d'Hexagon M.App Enterprise per posar a provar les capacitats del nou portafoli Luciad.

3.2. Objectius específics

- » Generar el model 3D del subsòl de la ciutat de Barcelona
- » Validar les dades de profunditat de les infraestructures construïdes a sota rasant presentades a la tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé.
- » Testejar les capacitats del software de Luciad a la plataforma M.App Enterprise.
- » Enfortir el raonament lògic, la competència digital i la capacitat per resoldre problemàtiques.
- » Desenvolupar la intel·ligència espacial.

4. DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

Durant el desenvolupament del projecte han sorgit situacions que han fet que aquest s'hagi tingut que readaptar per poder no només complir amb les dates establertes sinó per poder entregar un producte final acabat. Aquestes decisions s'han pres en consens entre el tutor i l'alumne.

Com ja s'ha indicat anteriorment, la idea inicial del projecte era modelitzar en 3D totes les edificacions i infraestructures presents en el subsòl de la ciutat de Barcelona a partir de les dades generades per la Dra. Vinyes mitjançant la plataforma M.App Enterprise d'Hexagon.

Davant d'aquest conjunt de problemàtiques, s'ha decidit continuar amb la idea original de tridimensionalitzar el nou mapa del subsòl de la ciutat de Barcelona de la Dra. Vinyes però només de l'àmbit territorial d'on han facilitat les dades, i complementar el projecte amb la creació del model 3D de les edificacions a sota rasant de la superfície de Barcelona a partir de les dades públiques que proporciona la Direcció General del Cadastre. A més, això porta associat, al mateix temps, un canvi de plataforma de treball, substituint el programari SIG de GeoMedia pel programari d'ArcScene d'ArcGIS per poder generar els dos models 3D.

4.1. Fonts d'informació

La font d'informació fa referència a qualsevol suport, físic o digital, que pot servir per satisfer una necessitat informativa. Per tant, conèixer, distingir i seleccionar les fonts d'informació que millor s'ajusten per elaborar un projecte és part imprescindible pel procés de desenvolupament del mateix, ja que tenen la capacitat d'influir en els resultats finals.

4.1.1. Edificacions i infraestructures del subsòl

Les dades utilitzades en el projecte s'han obtingut a través del Cadastre i de la tesi doctoral de la Dra. Vinyes. Utilitzar una o altre font d'informació ho ha determinat l'escala cartogràfica de treball. En l'àmbit de tot el conjunt de la ciutat de Barcelona s'han fet servir les dades de la Direcció General del Cadastre per representar en 3D totes les edificacions localitzades sota la petjada de les construccions de l'espai privat ubicades a sobre rasant, mentre que les dades de la Dra. Vinyes s'han utilitzat per crear un model 3D centrat en una secció de la ciutat de Barcelona localitzada al districte de Sant Martí, on es representa de forma conjunta les edificacions que es troben sota la petjada del edificis situats a sobre rasant (espai privat) i les infraestructures que discorren per sota l'espai públic (Figura 2).

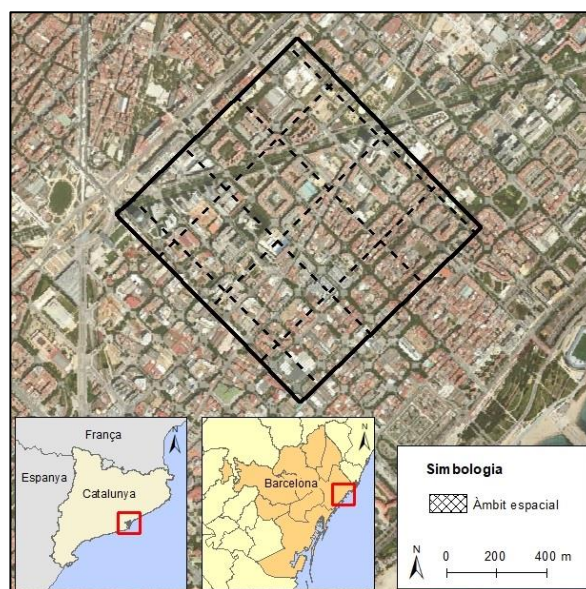


Figura 2: Àmbit espacial de les dades de la Dra. Rosina. **Font:** Elaboració pròpia a partir de les dades de Cartociudad, DIVA-GIS, ICGC i de la Dra. Vinyes.

El cadastre és un registre administratiu oficial i públic, dependent del Ministeri d'Hisenda, on es detallen les característiques físiques, econòmiques i jurídiques dels diferents béns immobles continguts dins del territori espanyol. Gràcies a la naturalesa de la informació que conté, el cadastre s'ha convertit en el referent per: els futurs planejaments que es vulguin implementar en qualsevol àmbit o escala territorial; determinar i calcular les corresponents obligacions

tributàries dels propietaris dels béns immobles que es puguin derivar; vetllar per la seguretat jurídica de les propietats.

La informació continguda en el registre del cadastre es pot consultar de forma telemàtica a



Figura 3: Seu electrònica del Cadastre. **Font:** Ministeri d'Hisenda.

través de la seu electrònica que disposa la pròpia entitat (Figura 3). Aquest sistema d'accés, implementat a partir de la Llei 11/2007 d'Accés electrònic dels ciutadans als serveis públics, ha proporcionat una major agilitat i reducció dels costos durant els processos de consulta.

La tesi doctoral de la Dra. Vinyes és producte d'un procés de treball de sis anys, fruit de múltiples trobades de l'autora amb la Barcelona oculta, abans i durant la elaboració de la seva

investigació. El propòsit de la mateixa és iniciar una nova línia d'estudis acadèmics que permetin crear coneixement de la forma de la ciutat de Barcelona actual a través de l'estudi del seu subsòl construït.

La Dra. Vinyes amb el seu treball ha assolit el repte, mitjançant la consulta i explotació de diverses fonts d'informació, de crear el primer plànol urbanístic del subsòl de la ciutat de Barcelona a on es mostra per primera vegada totes les edificacions i infraestructures localitzades a sota rasant de l'espai públic i de l'espai privat. Aquesta fita obre les portes a futures investigacions que ajudin a entendre cap a on va aquest procés de colonització del subsòl.

4.1.2. Model Digital del Terreny

Per aixecar la superfície dels dos models 3D (del conjunt de tota la ciutat de Barcelona i de la secció del districte de Sant Martí) s'ha fet servir el model digital del terreny de 2x2 metres que proporciona l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) en el seu portal de descàrregues.

El model digital del terreny (Figura 4), les seves sigles en anglès DTM, és una matriu regular amb un pas de malla de 2 metres que conté en cada cel·la la altitud ortomètrica, i que s'ha generat a partir de la tecnologia LiDAR.

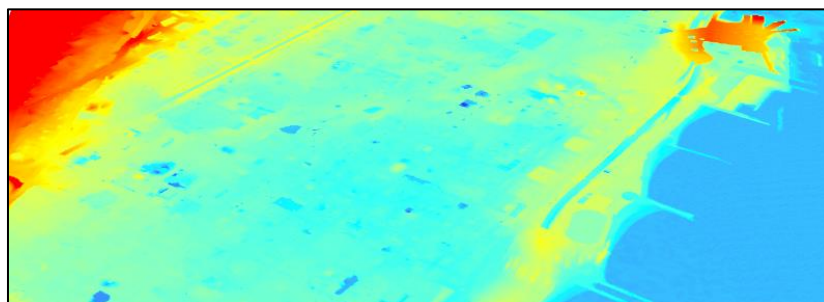


Figura 4: Model digital del terreny de l'àrea objecte de modelització. **Font:** ICGC.

La tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging) (Figura 5) està composta per un sensor làser, en aquest cas aerotransportat, que emet polsos de llum per mesurar rangs. La captació de dades es produeix en dos moviments: el de la trajectòria de vol (longitudinal) i el del mirall que està integrat en el sistema LiDAR i que reflexa la llum que li arriba del transmissor làser i distribueix els polsos de manera transversal en la totalitat de l'angle d'escaneig. La orientació i georeferenciació de les dades es realitza a partir de les dades capturades per un Sistema Global de Navegació per Satèl·lit (GNSS) i un sistema inercial, ambdós embarcats a l'avió en el moment de la captura de dades LiDAR, i que permeten obtenir coordenades absolutes de la trajectòria de vol i les actituds de l'avió durant la captura de les dades.

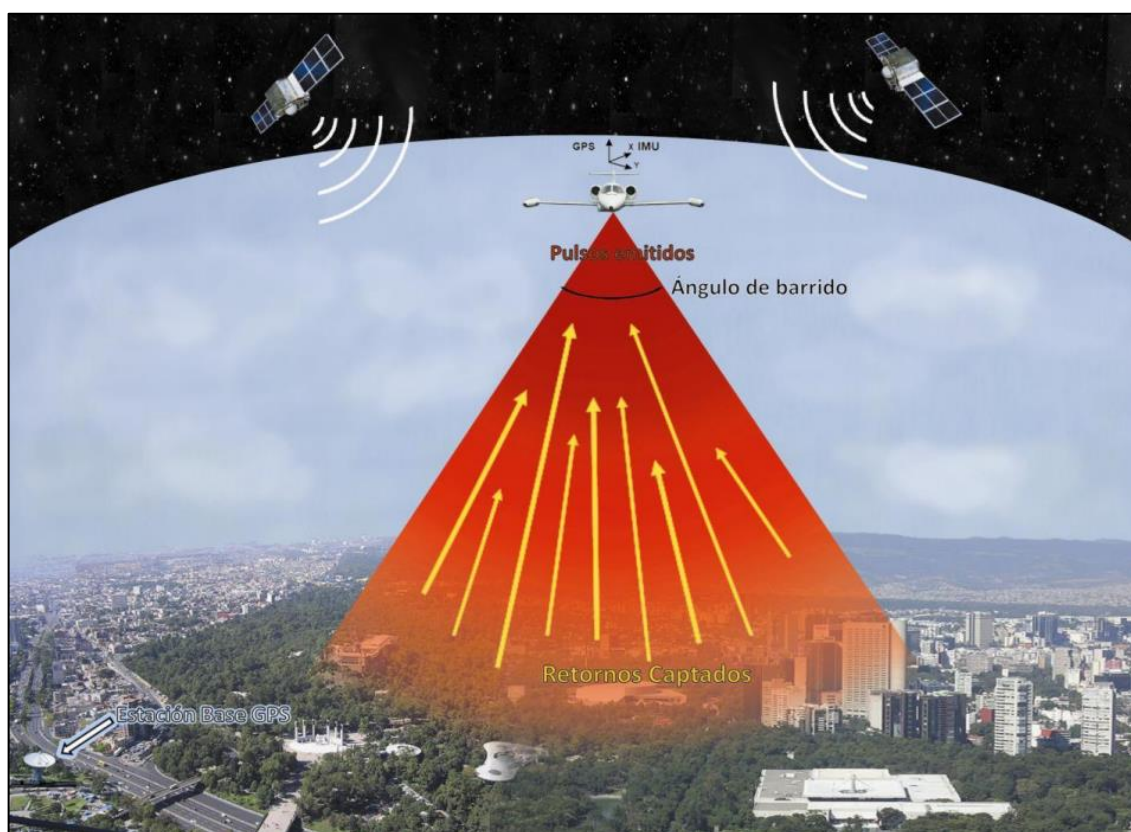


Figura 5: Components que intervenen en una captura de dades LiDAR. **Font:** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

A post procés es genera un núvol de punts continu sobre el territori (Figura 6), que permet disposar d'un complet detall de la seva topografia georeferenciada amb precisió centimètrica.

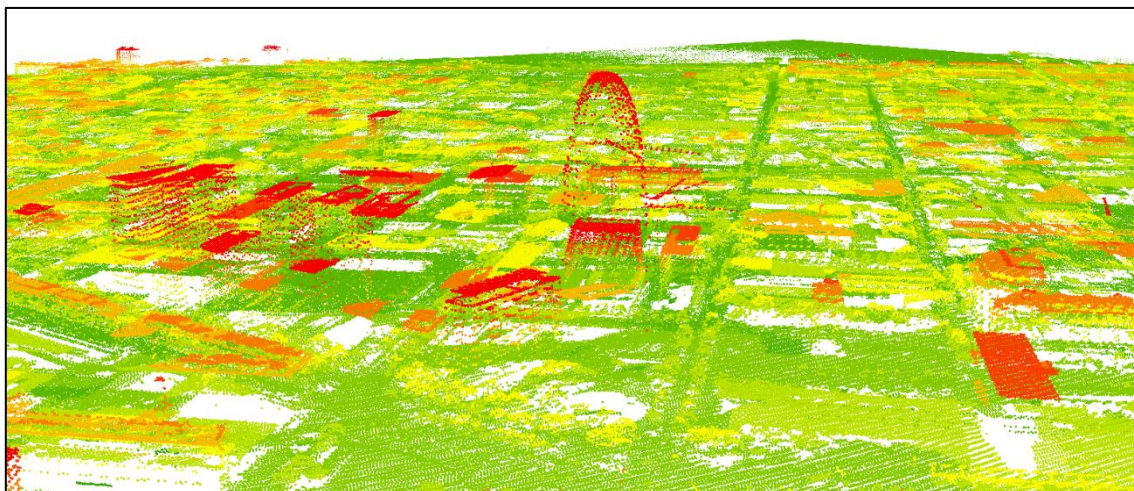


Figura 6: Núvol de punt LiDAR ajustada a la secció objecte de modelització. **Font:** ICGC.

4.2. Tractament de les geometries

La preparació de les dades abans d'iniciar qualsevol geoprocés és clau per generar una escena virtual 3D de bona qualitat. Aquesta correcció prèvia serà més o menys important en funció al treball que hagi realitzat la institució o la persona propietària de les dades abans de posar-les a disposició dels usuaris finals.

4.2.1. Model Digital del Terreny

L'ICGC realitza amplis controls de qualitat dels seus productes abans de distribuir-los al públic. Es per aquesta raó, que el model digital del terreny no ha necessitat cap tipus de procés de tractament de dades ni correcció. Només s'ha procedit a realitzar, mitjançant ArcScene, la conversió de les dades originals del model que s'obtenen en format ASCII d'ArcInfo a format ràster GeoTIFF per poder utilitzar-lo com a base per posicionar els diferents objectes que formaran part del model 3D a l'altitud ortomètrica que els correspon.

4.2.2. Cartografia cadastral

Les dades obtingudes del cadastre no han necessitat de cap tipus de tractament previ ni s'han detectat errors topològics en les seves geometries.

Per crear el model tridimensional s'han utilitzat dos programaris: QGIS i ArcScene d'ArcGIS. El primer s'ha fet servir perquè disposa d'un complement que permet accedir directament a la base de dades del cadastre de l'àmbit territorial desitjat sense haver de registrar-se. La informació es troba en format GeoJSON, i l'únic procés que s'ha realitzat ha estat exportar-la a format ESRI Shapefile per poder treballar amb la plataforma d'ArcScene.

Un cop es disposa del parcel·lari de la ciutat de Barcelona en format Shapefile, es procedeix a obrir ArcScene per fer la modelització en 3D de les plantes que es troben per sota de la superfície de l'espai privat. Recordar que ArcScene és un entorn de visualització 3D d'ArcGIS que

genera escenes amb perspectiva que permeten navegar i interactuar amb les pròpies entitats. El parcel·lari cadastral porta associada una taula d'atributs, i un d'aquests és la profunditat total, expressada en metres, de les plantes que hi ha per sota de cada parcel·la, i és amb aquest camp d'informació que es realitza la extrusió dels soterranis per crear els seus respectius volums.

El següent pas és indicar a la entitat que utilitzi el model digital del terreny perquè posi-cioni correctament cada unitat a la altitud que li pertoca. Fet aquest últim pas, només queda realitzar la simbolització dels objectes representats i elaborar la composició final del producte creat.

4.2.3. Tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé

Com ja s'ha concretat anteriorment, les dades facilitades per la Dra. Vinyes es circumscriuen espacialment en una secció localitzada dins del districte de Sant Martí. Aquestes estan en un format d'arxiu CAD denominat "Design" (DGN), i donada les capacitats de la plataforma de treball SIG GeoMedia no ha estat necessari realitzar cap tipus de correcció prèvia per treballar amb elles. El nombre total d'arxius amb els que es treballa són 11 i la informació que contenen són: els soterranis, les xarxes d'aigua, de sanejament, de climatització, elèctrica, de recollida d'escombraries i de gas, les estacions de metro, els aparcaments públics, els refugis antiaeris i el traçat de la línia del metro (Taula 1).

Nom fitxer	Descripció	Nom fitxer	Descripció
10.sot	Soterranis	ciu.gas	Xarxa de gas
ciu.aigua	Xarxa d'aigua	ciu.pk	Aparcaments públics
ciu.clav	Xarxa de sanejament	ciu.recollida pneumàtica	Recollida sòlida de residus
ciu.districlima	Xarxa de climatització		
ciu.electricitat	Xarxa elèctrica	ciu.refugis	Refugis antiaeris
ciu.estacions	Estacions del metro	ciu.transports	Traçat de la xarxa del metro

Taula 1: Detall d'arxius CAD proporcionat per la Dra. Rosina Vinyes Ballbé. **Font:** Elaboració pròpia.

El primer pas per elaborar el model 3D consisteix en crear un arxiu amb extensió CSD per a cada arxiu DGN i transferir la informació continguda dins l'arxiu DGN a l'arxiu CSD amb el propòsit de poder discriminar la informació per geometries. Fet això, és el moment de posicionar espacialment tots els objectes continguts en el nou arxiu CSD en el lloc que els pertoca perquè els arxius de CAD venen amb les coordenades UTM incompletes. Aquesta simplificació es realitza perquè els objectes representats comparteixen la mateixa projecció i fus UTM (31N), i en aquest cas concret, i després de consultar les metadades, s'han eliminat de les coordenades Y (latitud) els 4,5 milions de metres i de les coordenades X (longitud) els 400.000 metres. Només cal sumar a cada coordenada definida les unitats eliminades perquè els objectes es posicionin espacialment al seu lloc. El datum geodèsic emprat per referenciar les dades ha estat l'ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989).

Finalitzats els passos anteriors, s'està en les condicions per generar un arxiu MDB, format d'Access, per a cada arxiu CSD i transferir la informació continguda dins l'arxiu CSD a l'arxiu MDB.

Fet aquest procés es crea un nou camp anomenat “Profunditat” en cada arxiu MDB per introduir la distància a la que es troba cada objecte respecte a la superfície del sòl. Les dades de profunditat, en el cas dels arxius que són entitats poligonals, aquests serien soterranis, estacions de metro i aparcaments públics, ja es troben definides en un altre camp i només s’ha hagut de realitzar una operació amb la calculadora per extreure-les i omplir el nou atribut. En la resta d’entitats, concretament les lineals, aquestes serien el subministrament d’aigua, gas, electricitat, climatització, sanejament, recollida de residus i el traçat de la línia del metro, les dades de profunditat que s’han incorporat s’han extret fent una lectura de la tesi doctoral. El document no especifica una profunditat concreta sinó que presenta un rang entre un mínim i un màxim. Davant d’aquest fet i la manca d’especificacions tècniques que ajudin a determinar una profunditat més acurada a la realitat, s’ha decidit per a cada entitat, sempre dins del rang establert per la Dra. Vinyes, establir aquella profunditat que no intersequés amb d’altres infraestructures existents al subsòl. La única capa d’informació que s’ha quedat fora del model 3D ha estat la dels refugis antiaeris perquè dins de l’àmbit espacial treballat aquest està representada per elements puntuals. Totes les profunditats s’han especificat en negatiu perquè en el moment de fer la extrusió el volum es desplaci per sota de la cota 0. La relació de profunditats per a cada capa participant es mostra a la Taula 2.

Servei	Profunditat		
	Mín. (m)	Máx. (m)	Final (m)
Soterranis	--	--	-3, -6, -9, -12, -15
Estacions de metro	--	--	-6
Aparcaments públics	--	--	-3, -6, -9
Sanejament	-1	-1,25	-1,25
Agua	-0,1	-1	-0,5
Electricitat	-0,9	-1,1	-1,1
Gas	-0,6	-1	-0,8
Metro	-9	-14	-11,5
Climatització	-1,5	-3	-2,25
Recollida pneumàtica	-3	-3,5	-3,25

Taula 2: Detall de profunditats de cada edificació i infraestructura a partir de les dades de la tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé.
Font: Elaboració pròpia.

El projecte es va quedar travat en aquest últim pas i no va seguir avançant. Davant d’aquest fet, i per poder entregar el projecte a la data establerta, es va decidir canviar la plataforma SIG que fins en aquell moment s’estava utilitzant (GeoMedia) per la d’ArcScene amb la intenció de desbloquejar la situació i continuar treballant de forma autònoma.

Un cop redefinida la estratègia per assolir els objectius marcats, es van exportar tots els arxius

MDB a shapefile per aprofitar tota la feina realitzada anteriorment. Feta la conversió, les capes es diferencien entre entitats poligonals i entitats lineals perquè amb les segones es realitzarà un geoprocés previ a la seva modelització.

Les entitats poligonals com ja disposen del camp de profunditat estan en condicions per fer l’extrusió dels seus objectes sense fer cap procés previ. Fet això, el següent pas consisteix en indicar a cada capa que utilitzi el model digital del terreny perquè posicioni els seus respectius objectes a l’altitud que li pertoca. Finalment, només queda realitzar la simbolització dels elements representats.

Pel que fa a les entitats lineals, per millorar la seva representació és necessari fer prèviament una zona d'influència 3D sobre aquests objectes. Amb això s'aconsegueix crear un efecte de canalització, i per tant, de volum. Al igual que la concreció de les seves respectives profunditats, s'ha hagut de realitzar una segona lectura de la tesi doctoral de la Dra. Vinyes per extreure els diàmetres d'aquestes infraestructures. En aquest cas, el document tampoc especifica diàmetres concrets sinó que presenta rang entre un mínim i un màxim. Per tant, i seguint la lògica utilitzada per determinar les profunditats d'aquests elements, s'ha establert una secció de canalització que no es superposés amb les demés infraestructures, respectant sempre que aquest valor estigui dins del mínim i del màxim predefinits (Taula 3).

Servei	Secció (Ø)		
	Mín. (m)	Màx. (m)	Final (m)
Sanejament	0,6	1,7	0,6
Agua	0,1	0,2	0,2
Electricitat	0,01	0,63	0,2
Gas	0,1	0,2	0,2
Metro	9		9
Climatització	0,6	0,9	0,75
Recollida pneumàtica	0,5		0,5

Taula 3: Detall de les seccions de les infraestructures dels serveis a partir de les dades de la tesi doctoral de la Dra. Rosina Vinyes Ballbé. **Font:** Elaboració pròpia.

En algunes de les capes d'infraestructures s'han produït errors topològics durant l'execució de la zona d'influència 3D impossibilitant la seva creació. Això es deu a que s'ha treballat directament amb les capes exportades des del software de GeoMedia. L'explicació rau en que aquesta plataforma no té la necessitat d'aplicar una topologia de regles per crear geometries a partir d'arxius CAD. Davant d'aquest fet, s'ha procedit a aplicar a cada entitat la topologia de regles per intentar esmenar els problemes que fan que no es formin adequadament les àrees d'influència 3D. La topologia és un procés automàtic que aplica les regles que l'usuari escull per poder comprovar la integritat de la informació y validació de les representacions. Les regles aplicades han estat: no ha de superposar-se, no ha de tenir arcs penjants, no ha de tenir pseudonodes i no ha de superposar-se a si mateix. Finalitzat aquest procés s'han pogut generar satisfactòriament les diferents zones d'influència 3D i no ha estat necessari realitzar correccions de forma manual. En aquest cas concret, donat que l'àmbit espacial es circumscriu només a una secció del districte de Sant Martí, el temps invertit per esmenar alguns dels errors topològics no ha estat gaire important però que si es volgués extrapolar a tot Barcelona, aquest es multiplicaria exponencialment, sempre i quan es busqués generar un producte de bona qualitat.

El següent pas a realitzar és indicar a cada entitat que utilitzi el model digital del terreny perquè es posicioni a la altitud que s'ha definit al camp de profunditat i pugui fer la extrusió de la zona d'influència 3D. Fet aquest últim pas, només queda realitzar la simbolització de les diferents entitats participants i elaborar la composició final del producte creat.

4.3. Semàntica de les dades i simbologia

Cada entitat geomètrica té unes metadades associades que indiquen la tipologia de la infraestructura i la seva profunditat.

La simbolització de les dades s'ha fet en funció de la naturalesa de les metadades associades a cada capa, quedant agrupades en dos grups: edificacions i infraestructures.

Les edificacions s'han simbolitzat segons la seva profunditat mitjançant una escala colorimètrica, on el verd més fosc representa el valor de menys profunditat i el vermell marca la màxima profunditat construïda. Entre tots dos colors es genera una gradació per representar les diferents profunditats existents entre el valor màxim i mínim. En el cas de les infraestructures, el criteri seleccionat ha estat el servei que proporciona a la ciutat.

En el model 3D de tot el conjunt de la ciutat de Barcelona, recordar que s'ha generat a partir de la base cadastral, només es representa la informació de les profunditats de les edificacions del subsòl. La simbolització es mostra a la Figura 7, on s'observa que Barcelona en tota la seva extensió té 9 nivells de profunditat, sent el valor de menys profunditat -3 metres i el valor màxim de -33 metres.

En el model 3D de la secció del districte de Sant Martí, de la mateixa manera que en el model 3D de tota Barcelona, es representen les profunditats de les edificacions sota la petjada dels edificis localitzats sobre rasant, però amb la diferència que també es mostren les diferents infraestructures que presten servei a la ciutat. El resultat final de la simbolització, en el cas de les edificacions (Figura 8), s'observa que aquest àmbit espacial de Sant Martí només té 5 nivells de profunditat, sent el valor de menys profunditat -3 metres i el valor màxim de -15 metres. Pel que fa a les infraestructures, com ja s'ha indicat anteriorment, s'han categoritzat en funció al tipus d'abastiment que proporcionen, quedant representades de la següent forma (Figura 9): Color groc: La xarxa d'abastiment de gas; Color blau: La xarxa d'abastiment d'aigua; Color cian: La xarxa d'abastiment d'electricitat; Color vermell: La xarxa d'abastiment de climatització; Color gris: Xarxa de sanejament; Color oliva: La xarxa de transport (metro); Color bronze: La xarxa de recollida pneumàtica de RSU.

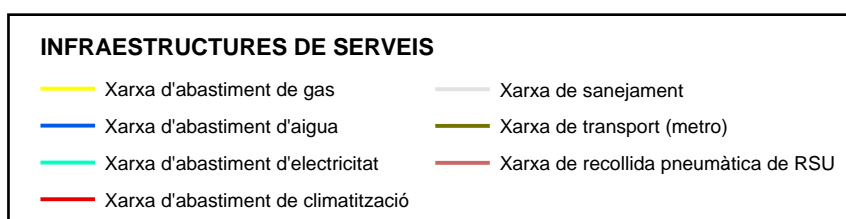


Figura 9: Simbologia de les diferents infraestructures que proporcionen servei a la secció representada dins del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

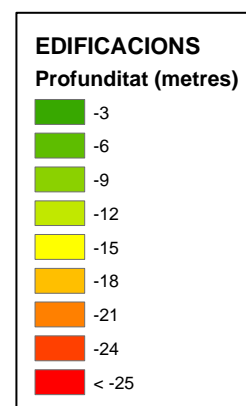


Figura 7: Simbologia de les profunditats de les edificacions del subsòl de tot el conjunt de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades del cadastre.



Figura 8: Simbologia de les profunditats de les edificacions del subsòl de la secció del districte de Sant Martí. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

4.4. Resultats

A continuació es presenta el resultat generat per a cada una de les escales espacials treballades, fent un recorregut a través de diverses captures des de diferents perspectives per mostrar les possibles relacions existents entre els objectes representats dins de la composició: objecte dins de, objecte part de, objecte connectat a un altre, etc., i ajudar a descriure les diferents geometries que dibuixen els elements sota rasant de les àrees urbanes.

4.4.1. Model general 3D del subsòl de la ciutat de Barcelona

El resultat es circumscriu únicament a l'àmbit territorial de tot el terme municipal de Barcelona i només es representen les edificacions sota la petjada de les parcel·les construïdes a sobre rasant.

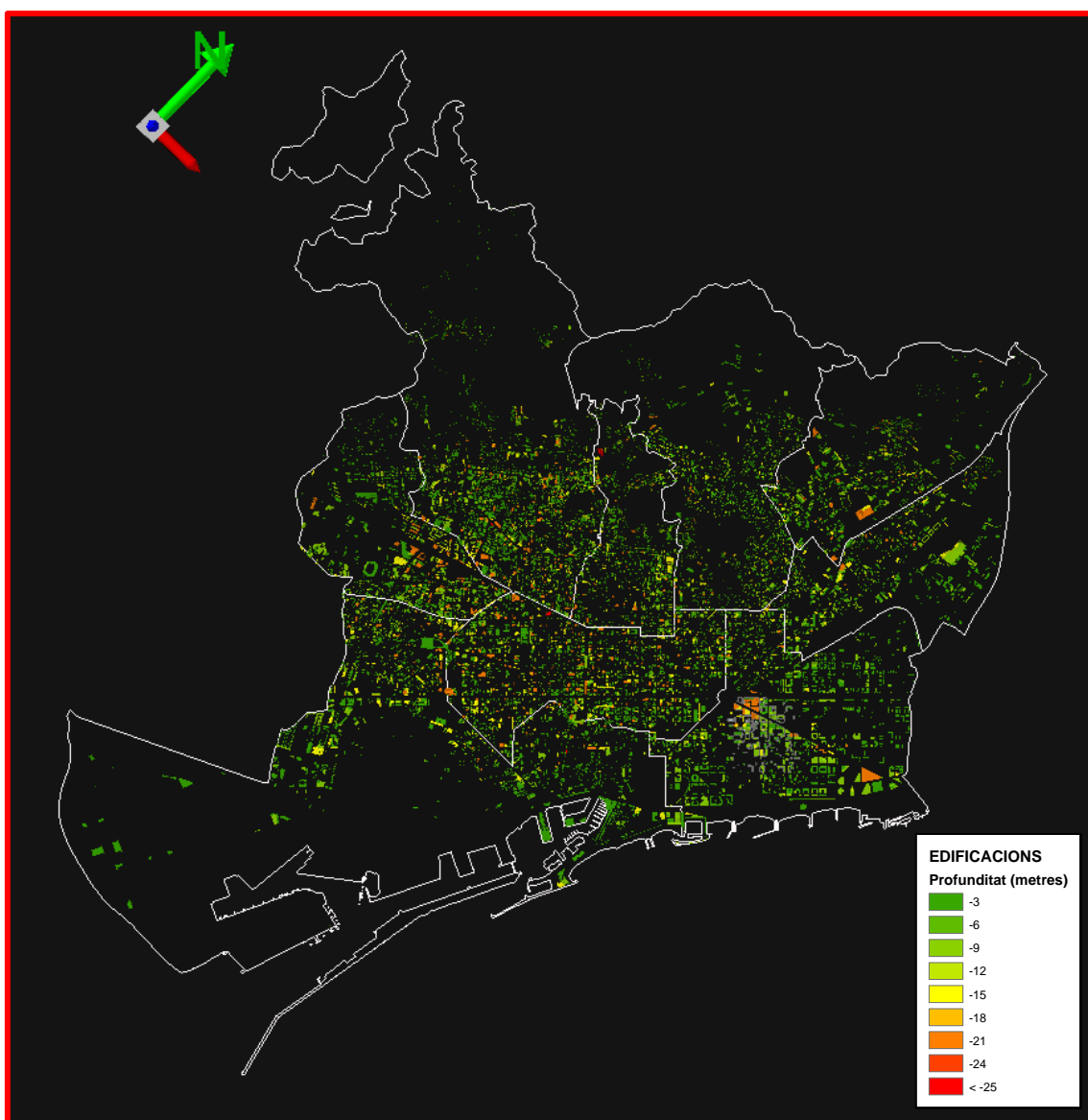


Figura 10: Visualització zenital 3D de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

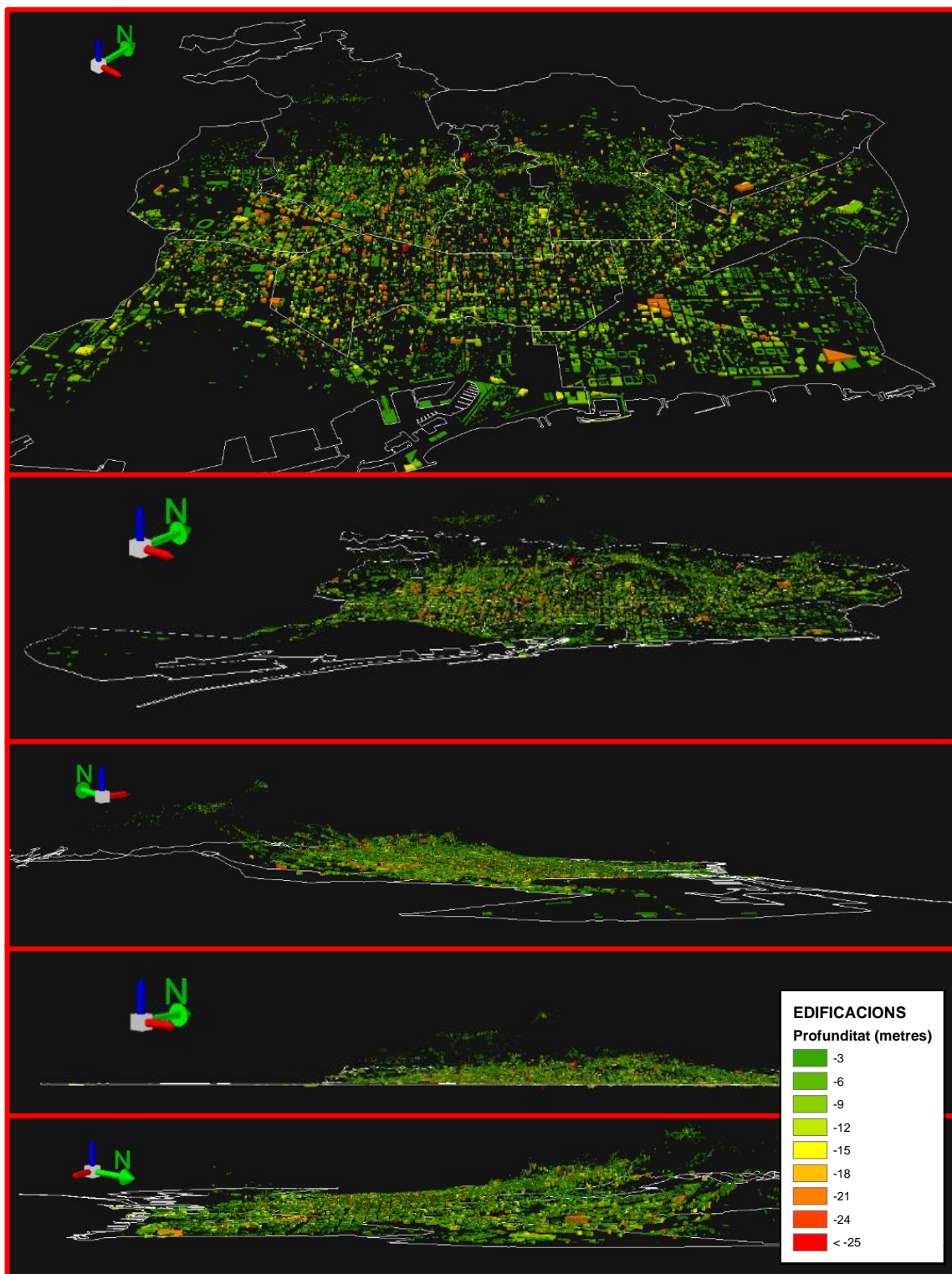


Figura 11: Composició de cinc escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

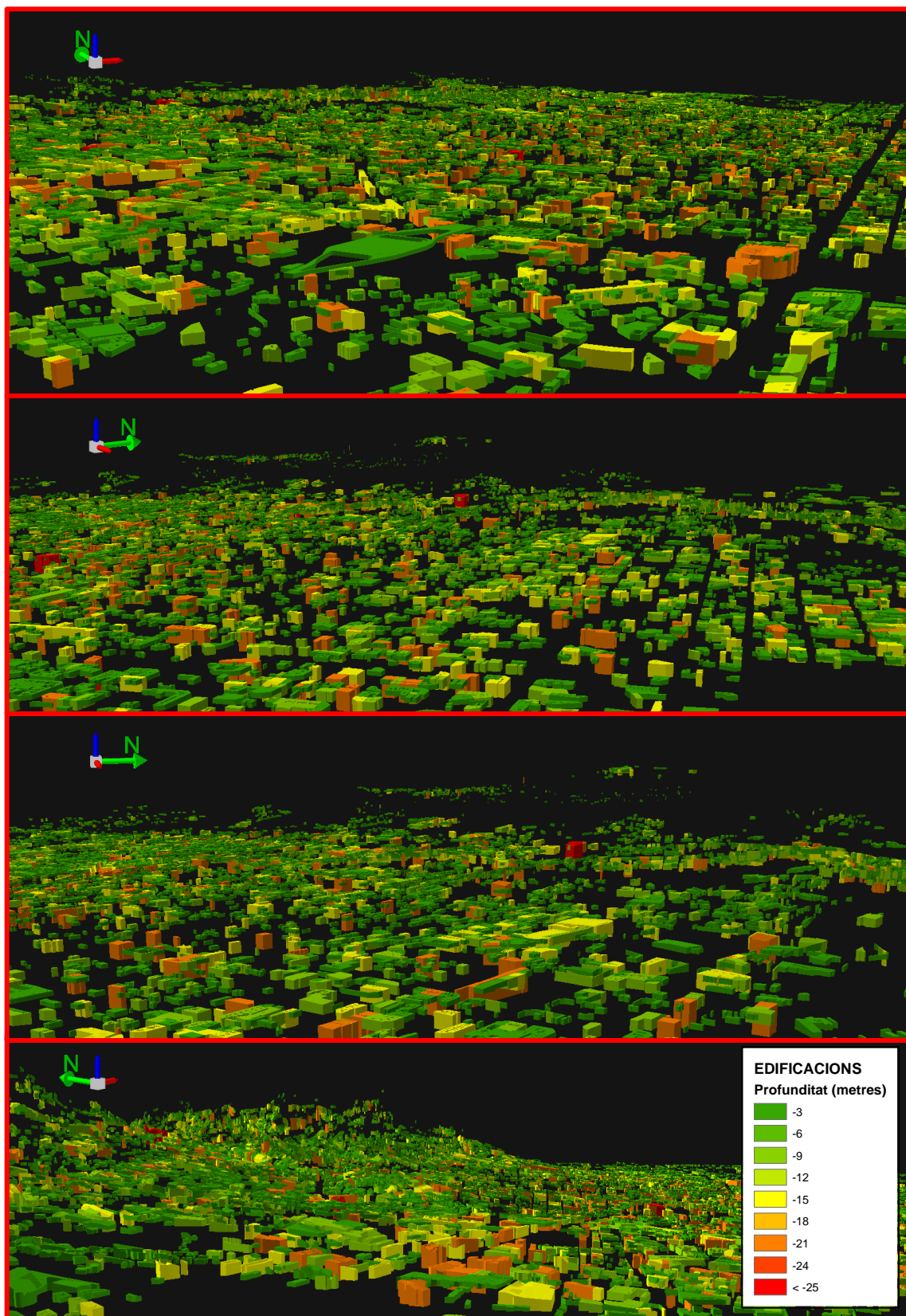


Figura 12: Composició de quatre escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

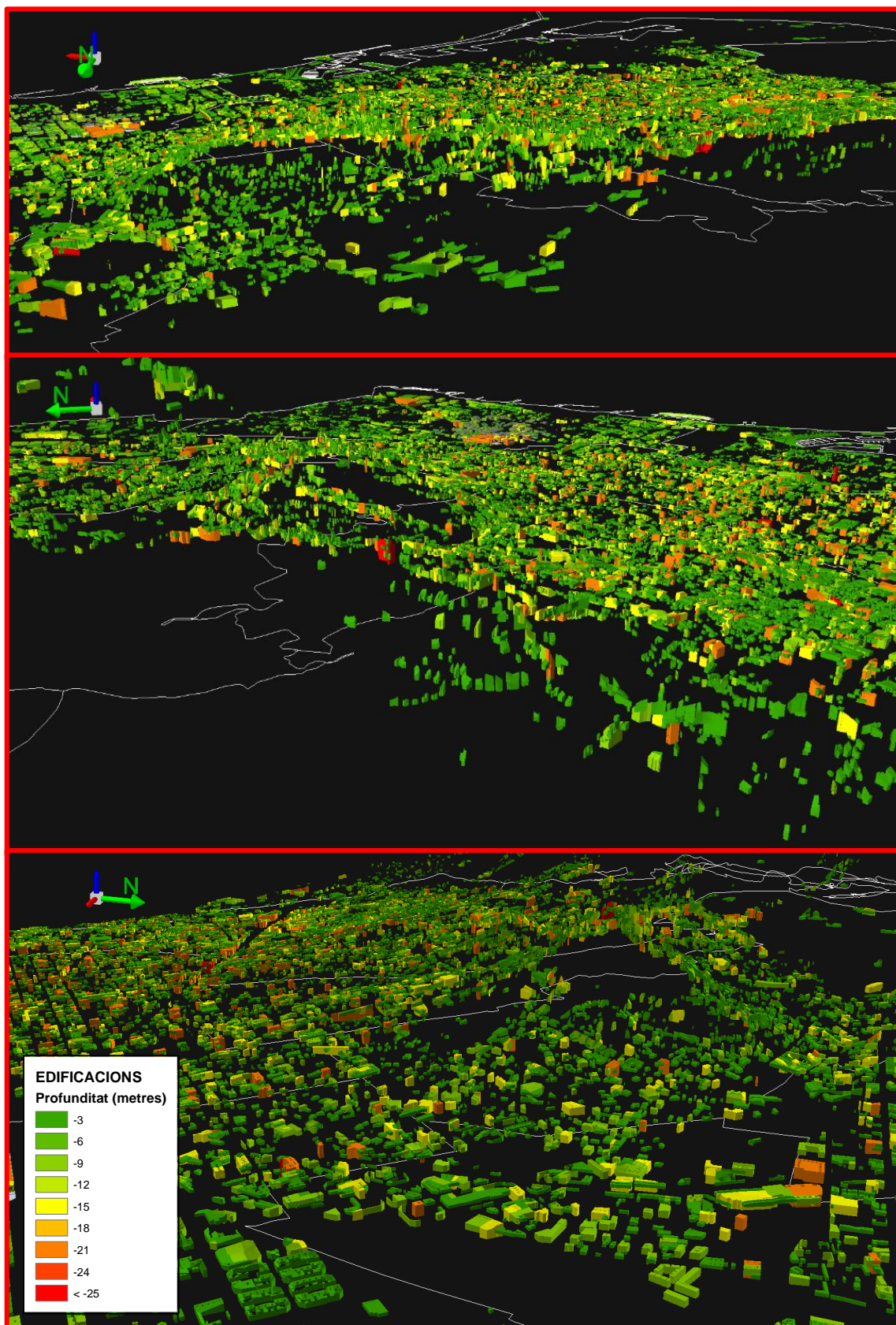


Figura 13: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

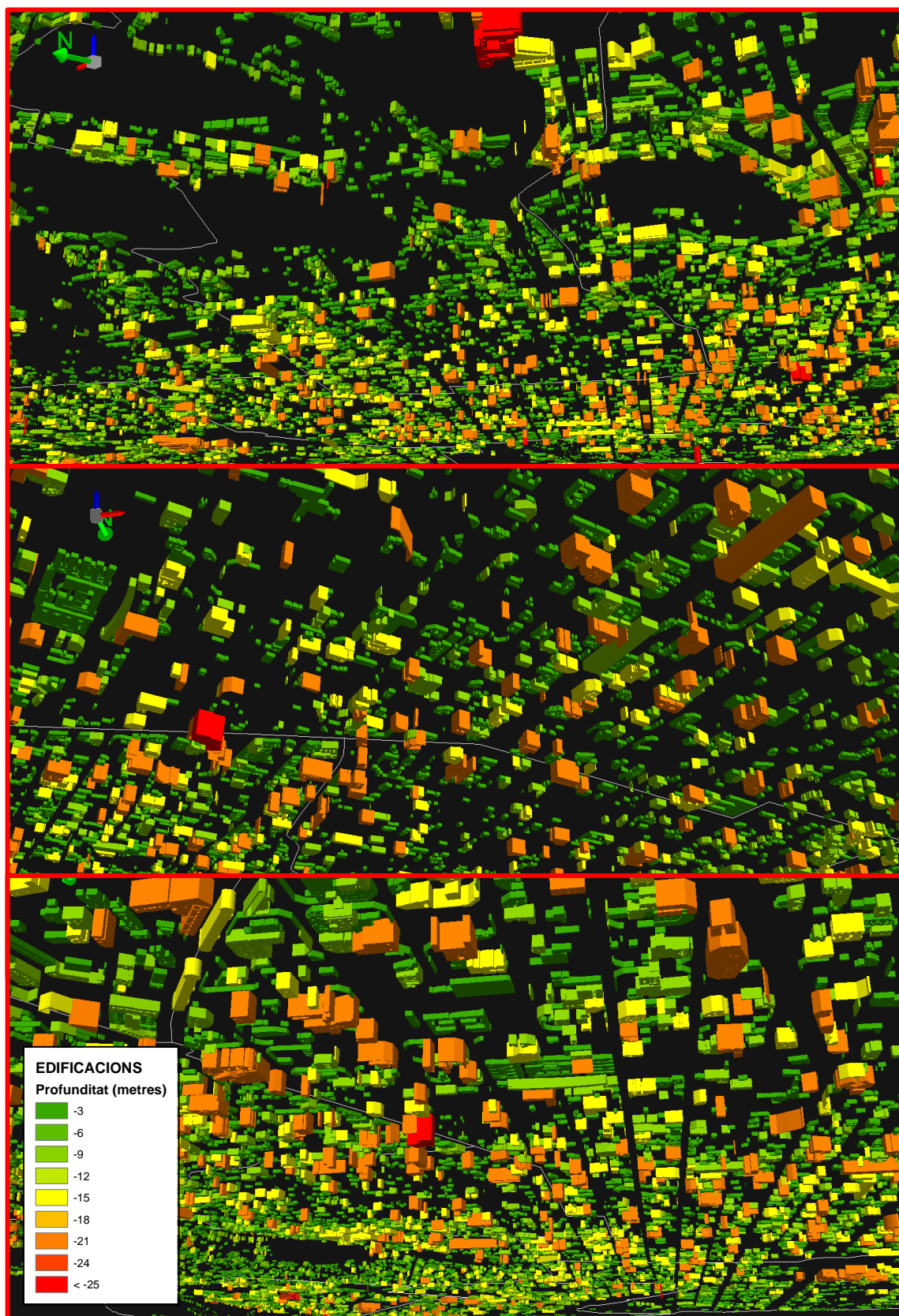


Figura 14: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

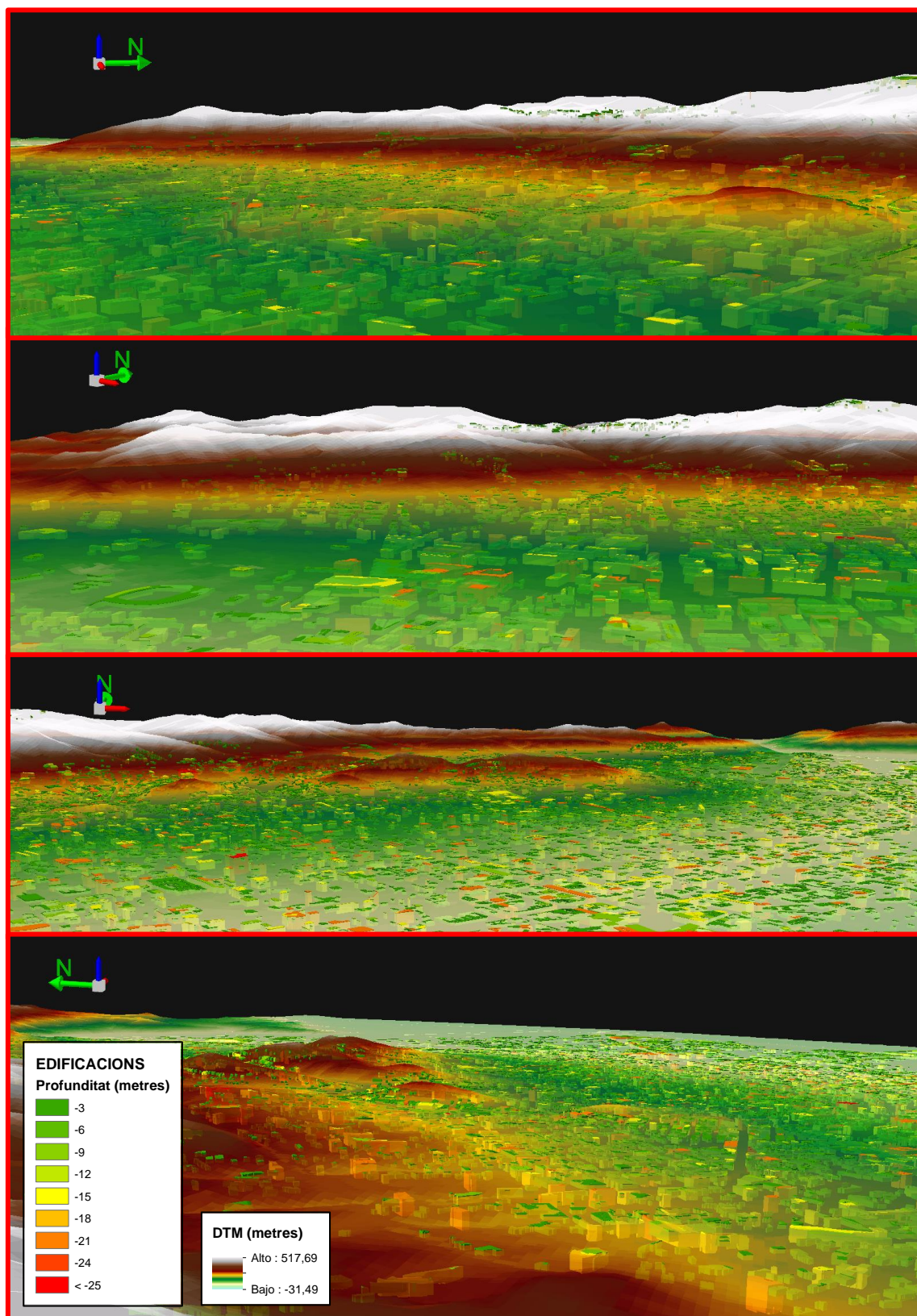


Figura 15: Composició de quatre escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

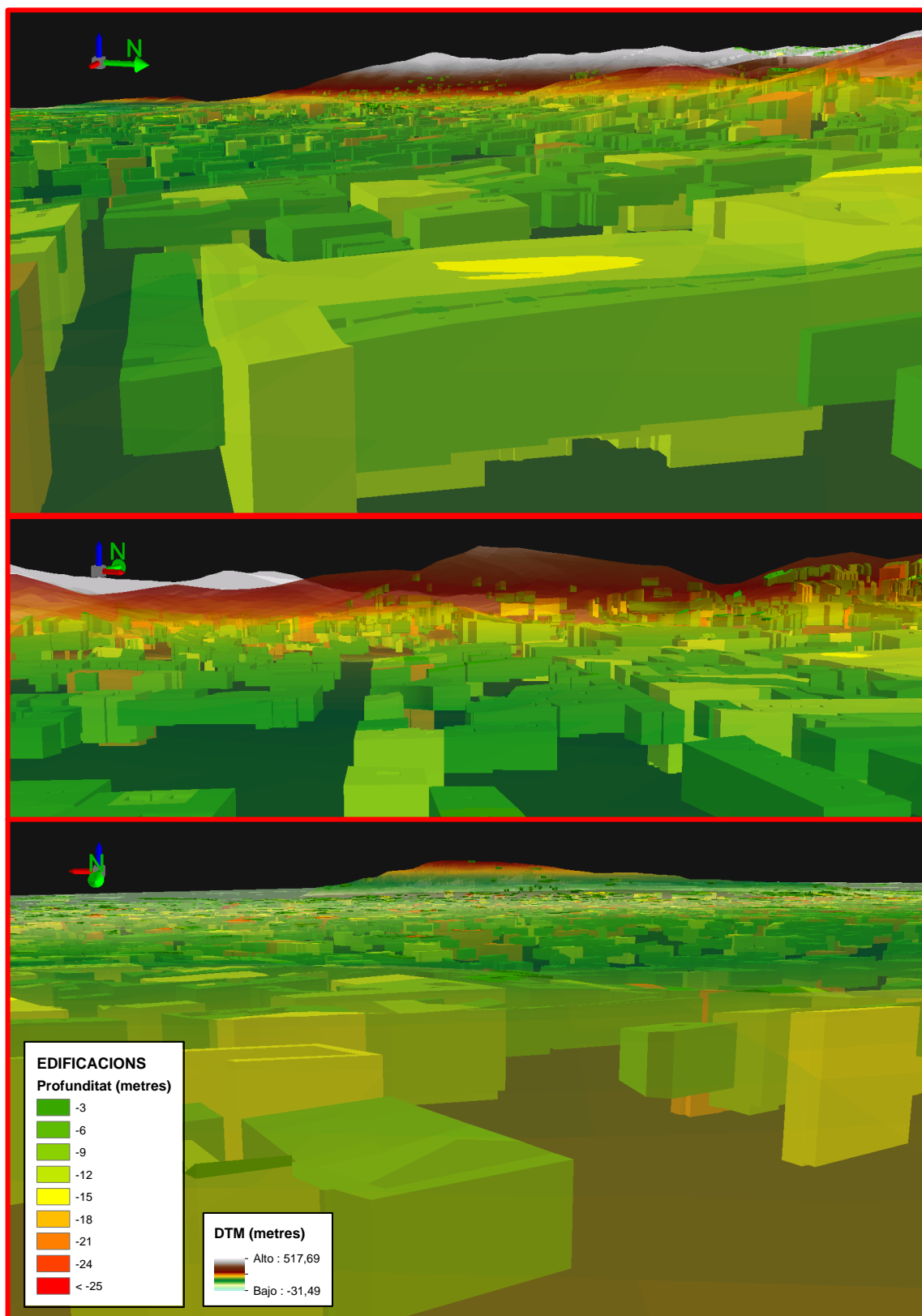


Figura 16: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

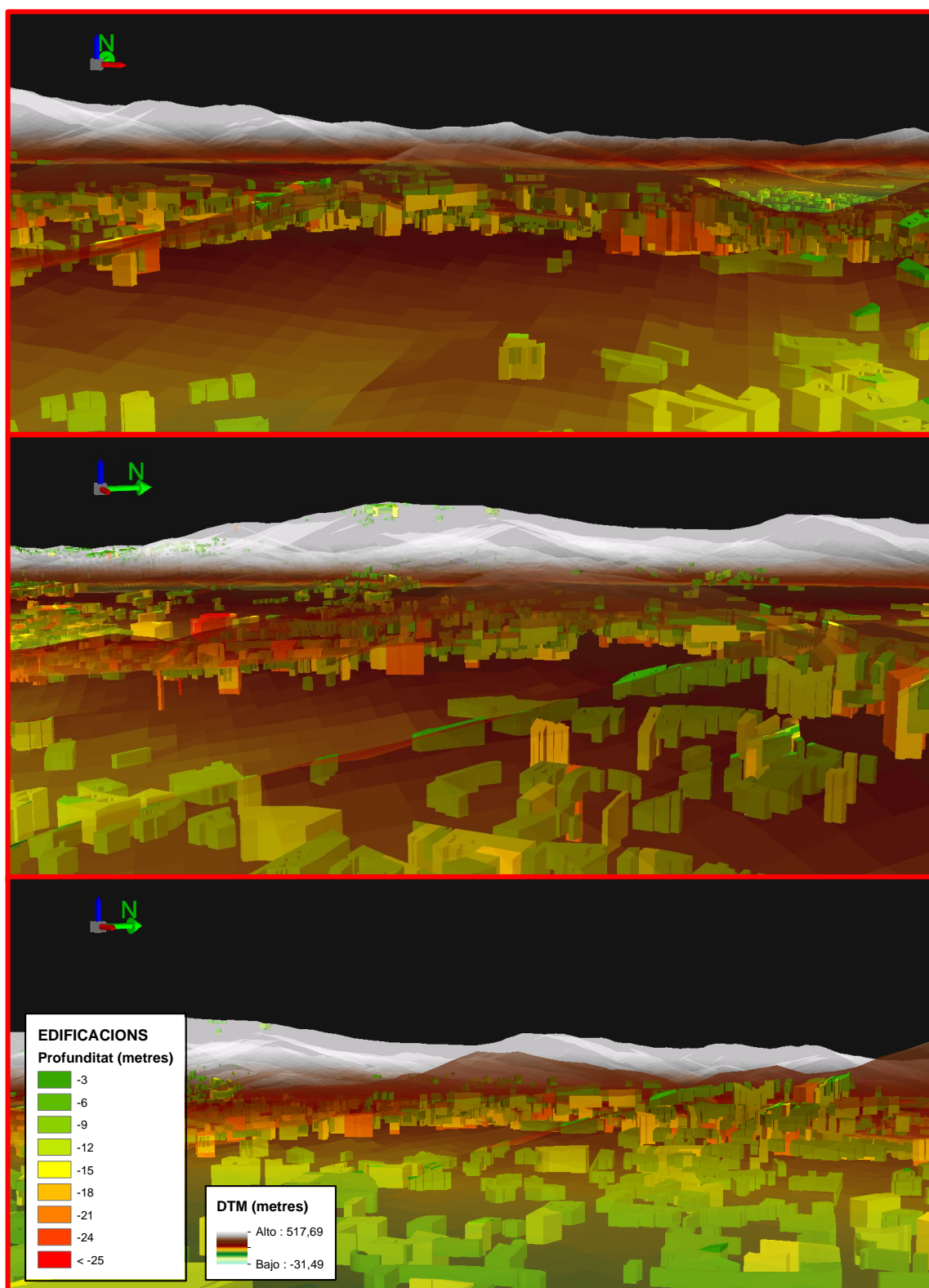


Figura 17: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

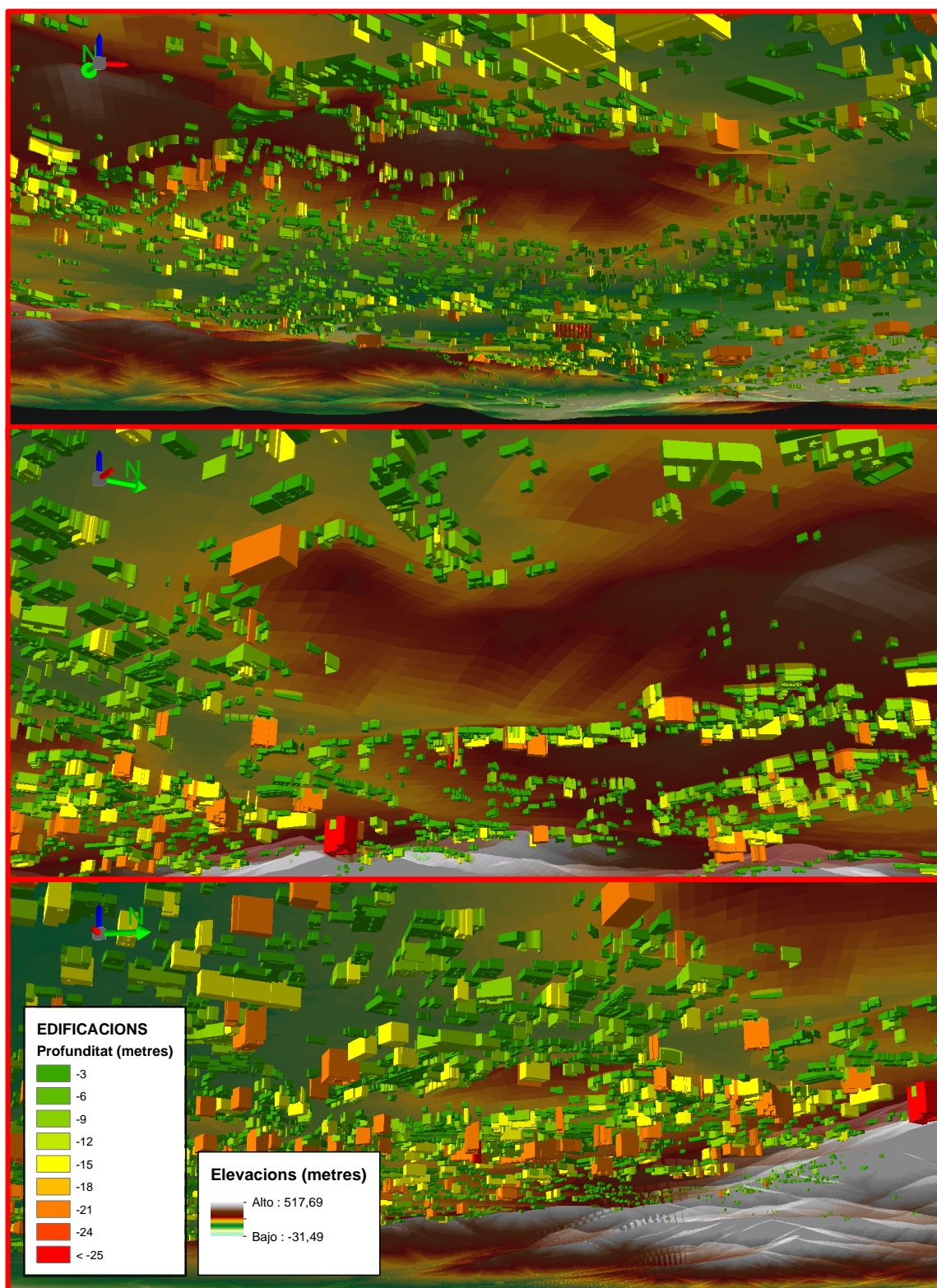


Figura 18: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions del subsòl de la ciutat de Barcelona amb el model digital del terreny de fons. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Direcció general del Cadastre.

4.4.2. Model 3D del subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona)

El resultat es circumscriu únicament a una secció localitzada dins del districte de Sant Martí (Barcelona) i es representen en aquesta ocasió tant les edificacions sota la petjada de les parcel·les construïdes a sobre rasant com les infraestructures de serveis ubicades sota rasant de l'espai públic.

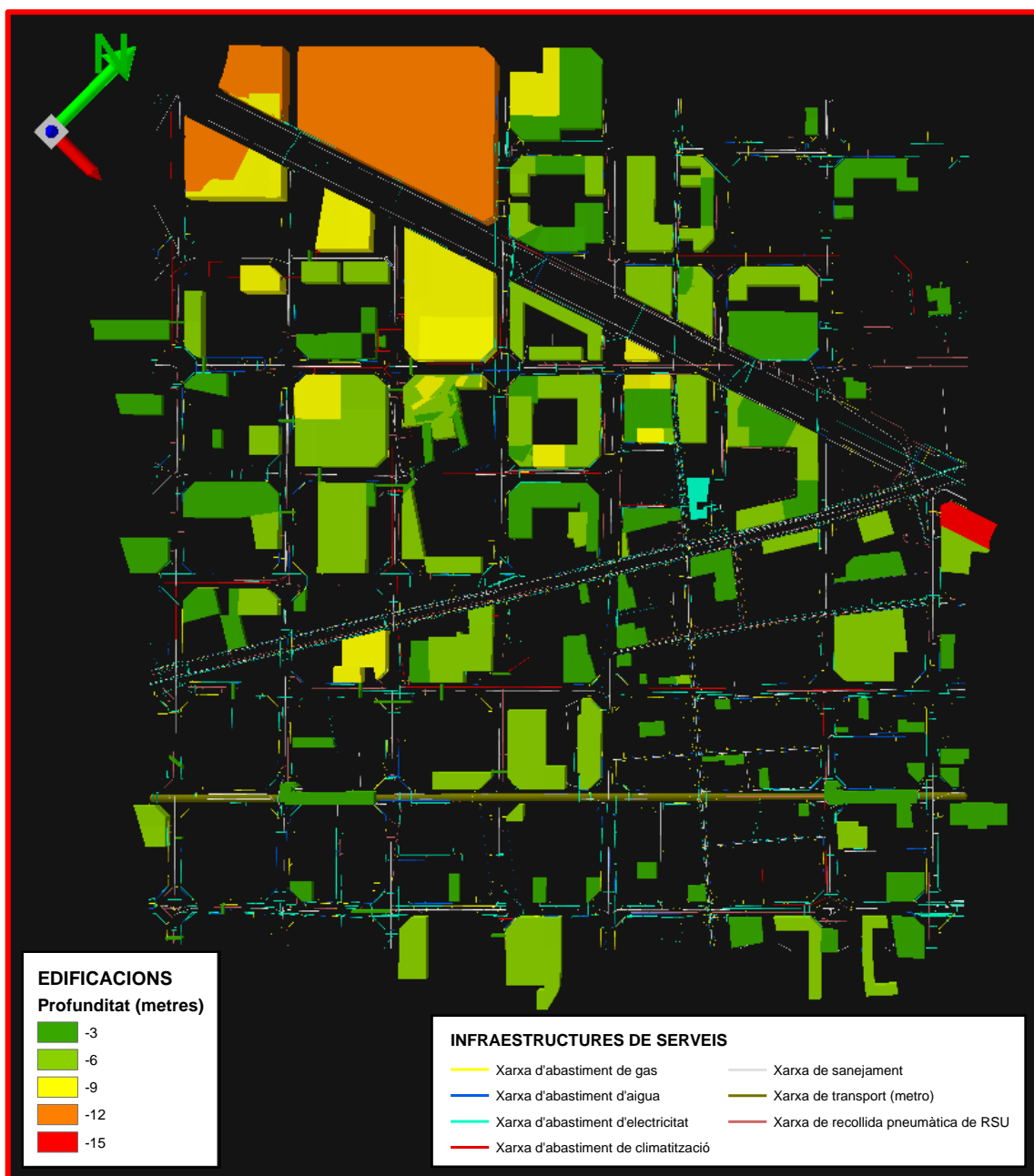


Figura 19: Visualització zenital 3D de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

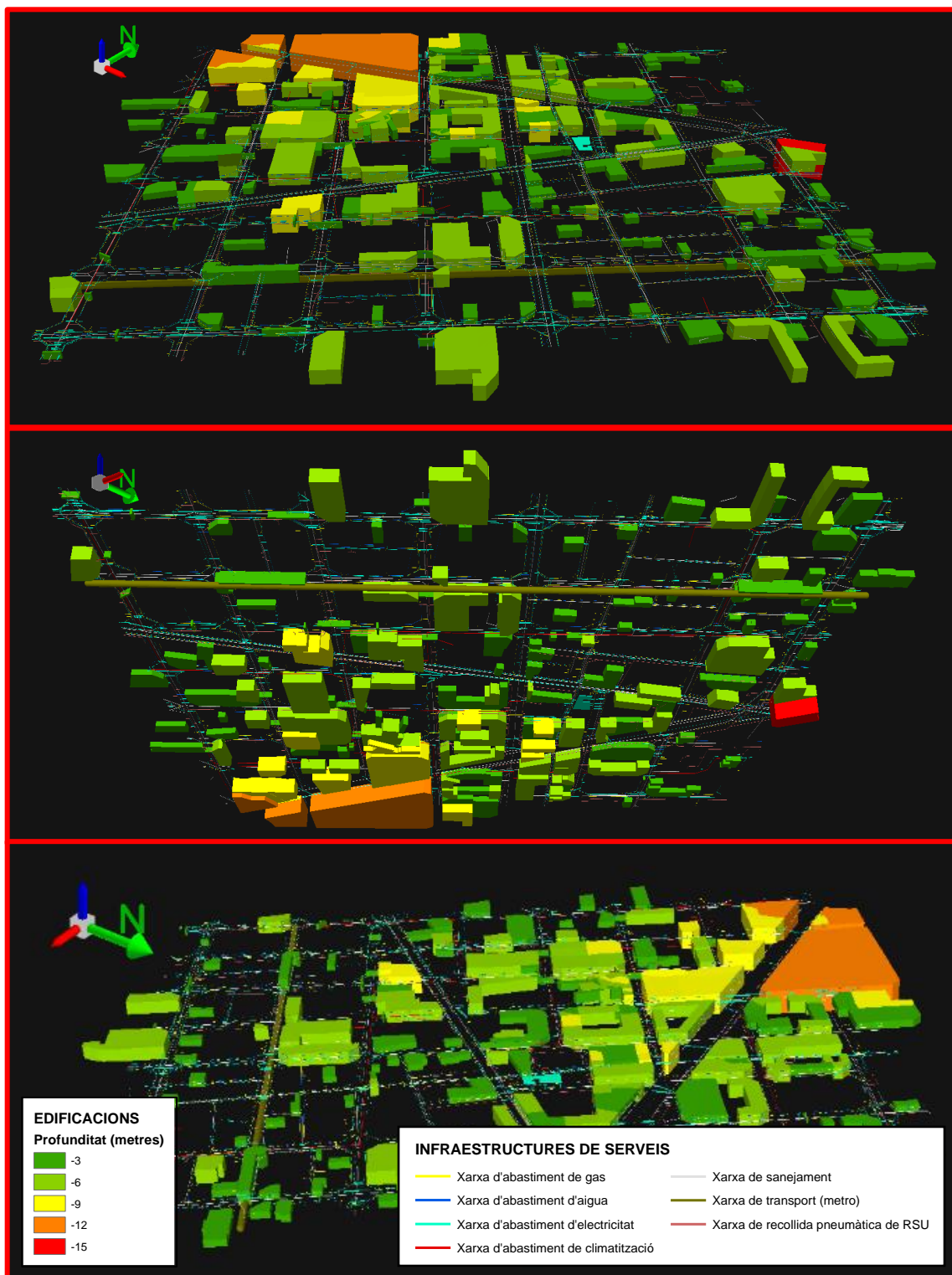


Figura 20: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

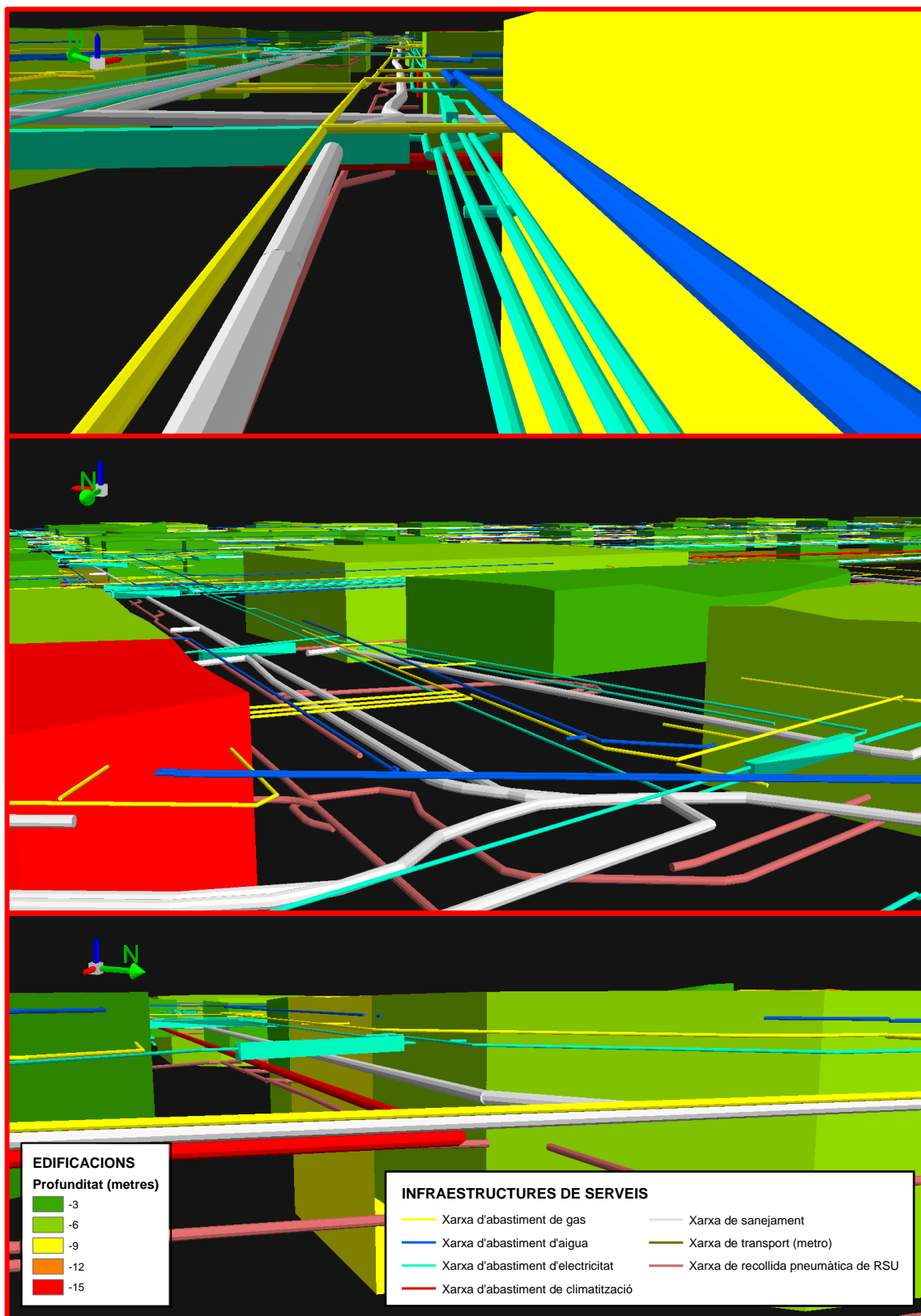


Figura 21: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

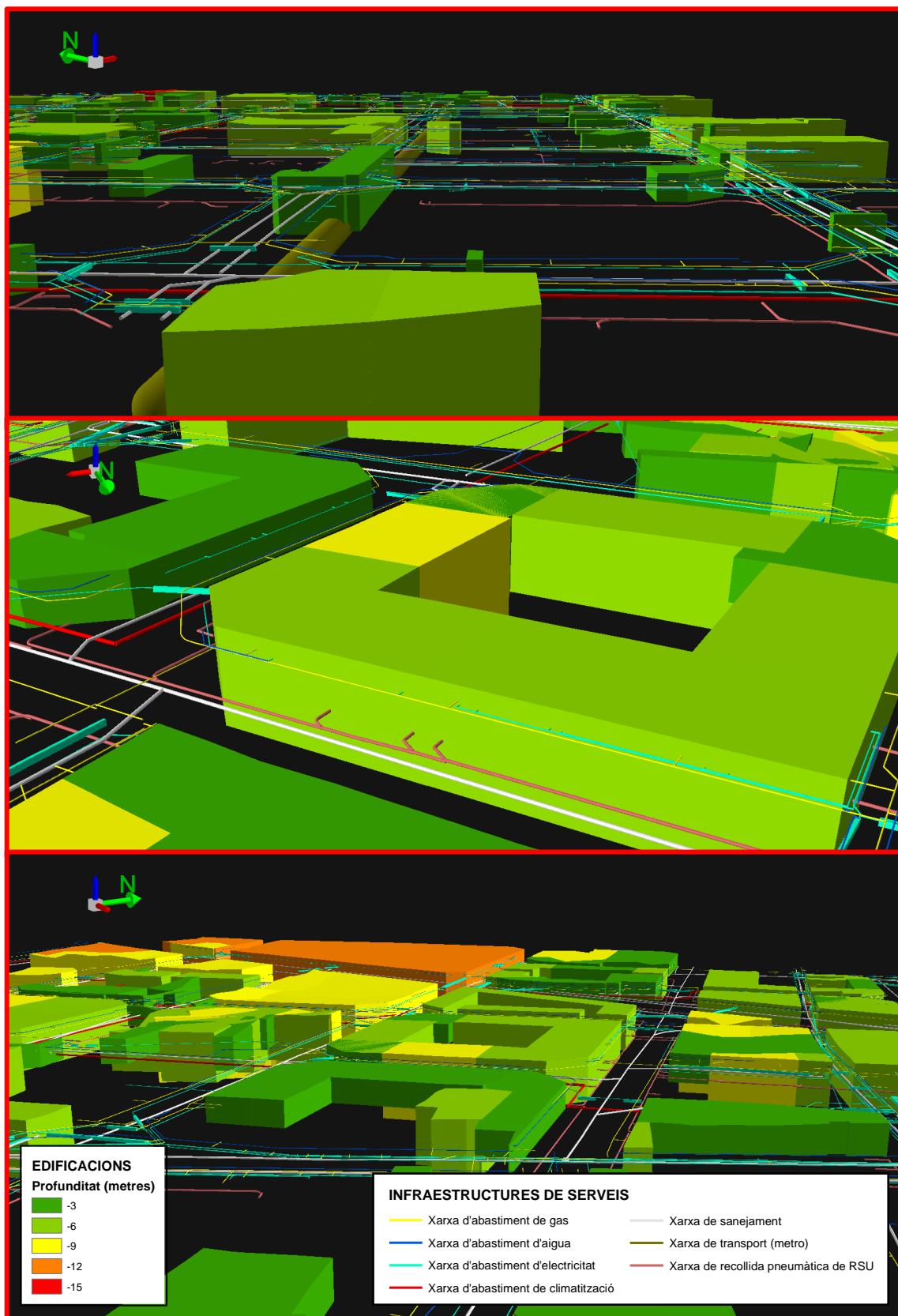


Figura 22: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

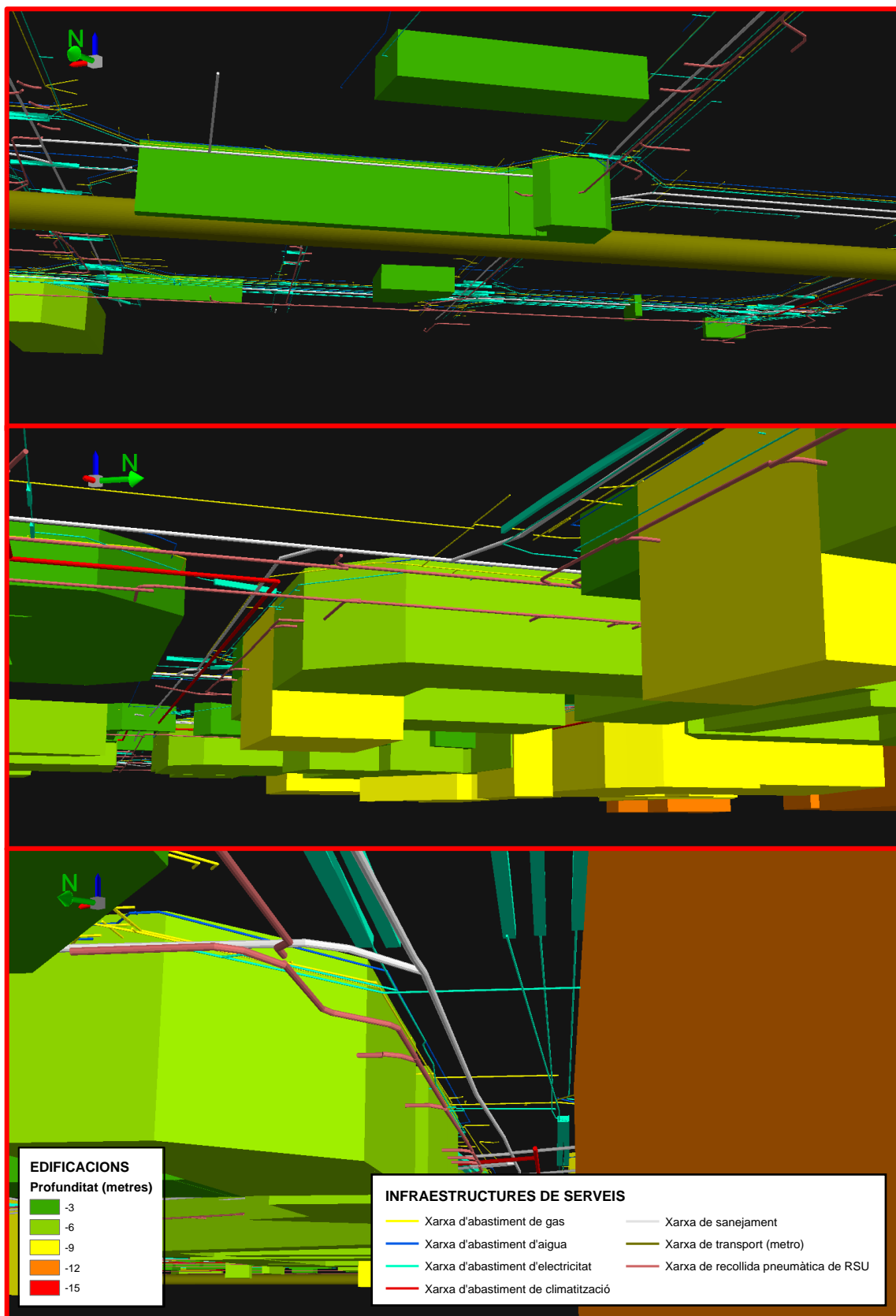


Figura 23: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

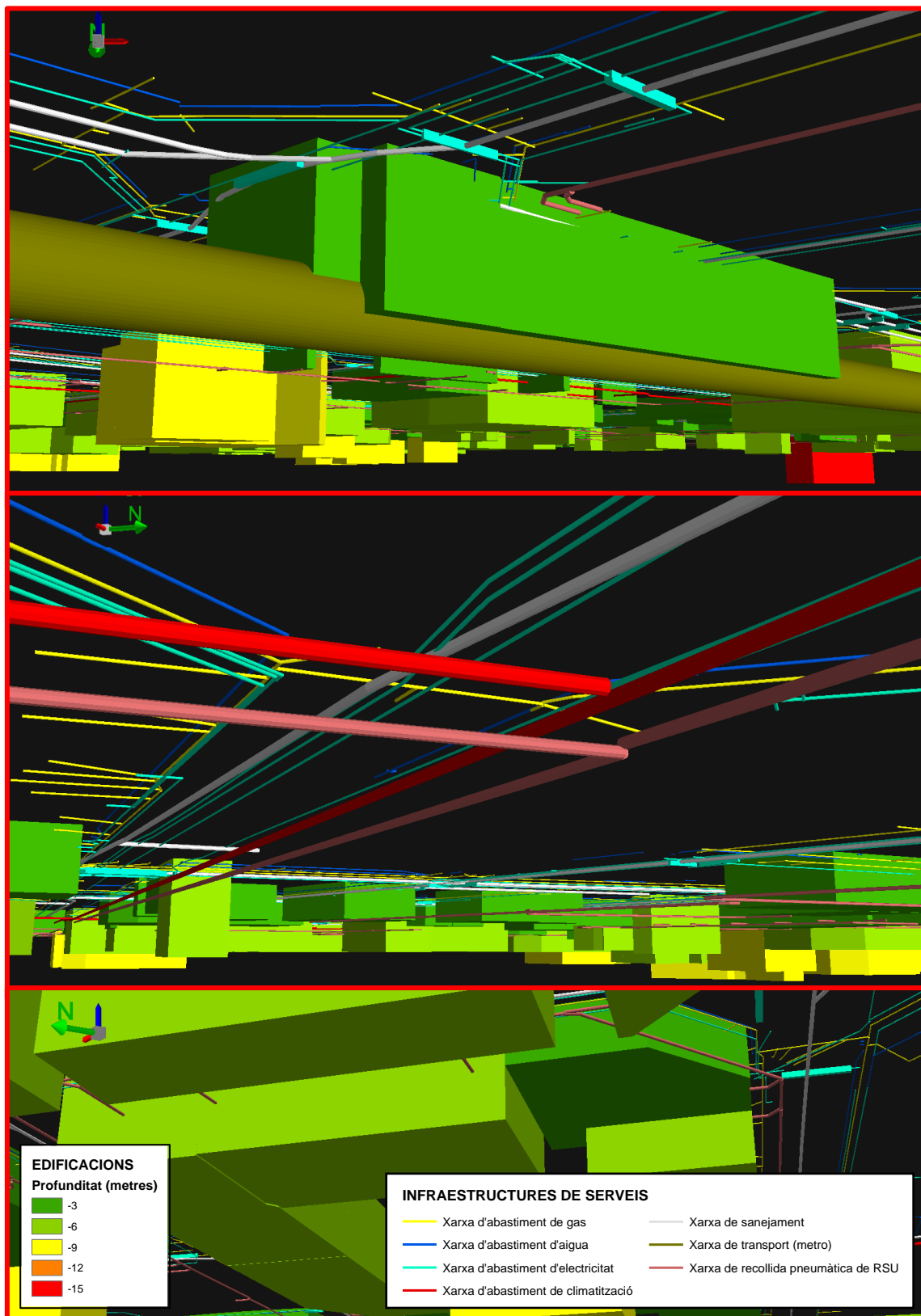


Figura 24: Composició de tres escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona). **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

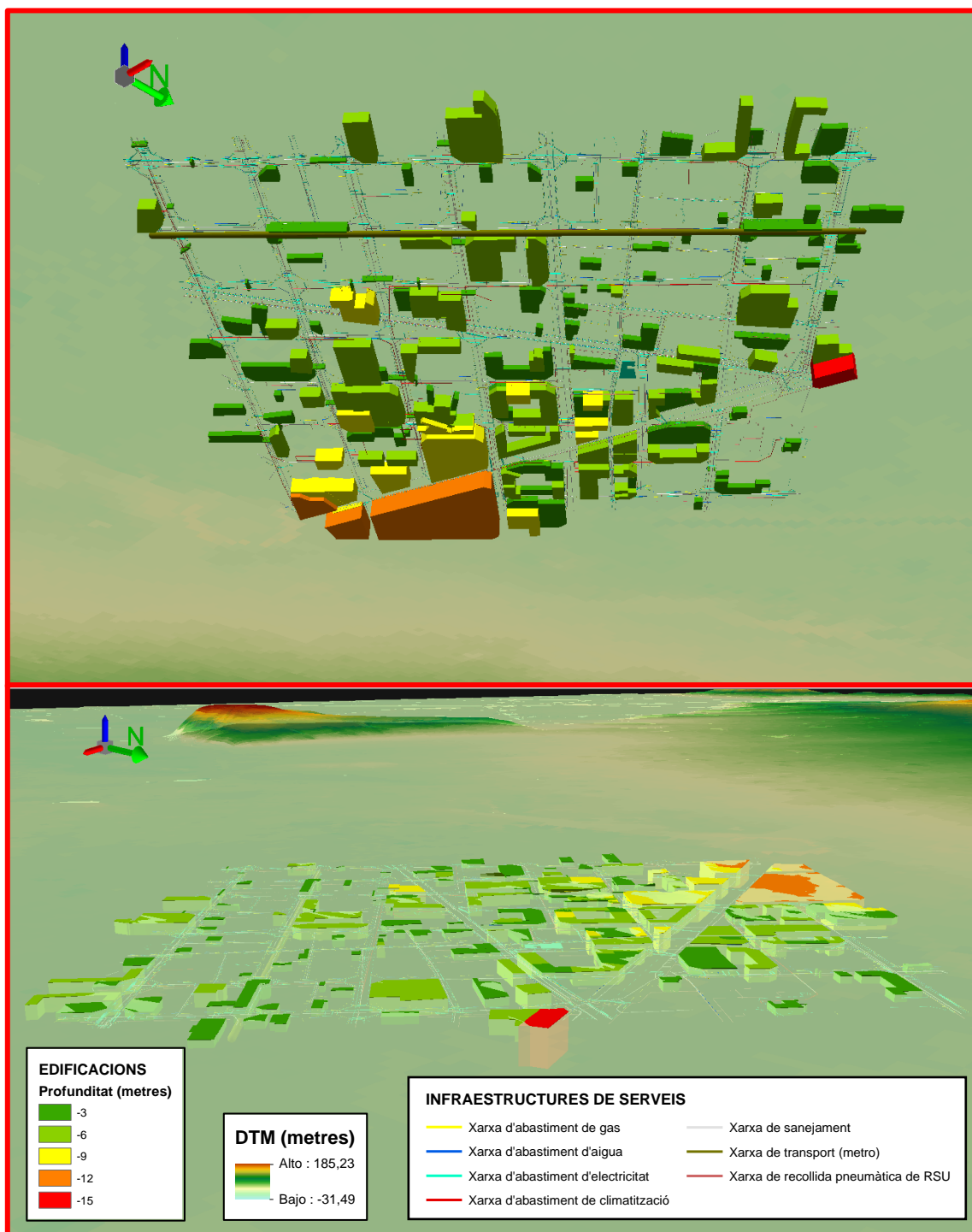


Figura 25: Composició de dos escenes 3D des de diferents perspectives de les edificacions i infraestructures de serveis existents al subsòl de la secció del districte de Sant Martí (Barcelona) amb el model digital del terreny de fons. **Font:** Elaboració pròpia amb dades de la Dra. Vinyes.

5. CONCLUSIONS

El projecte es va presentar com una idea innovadora, integrar les dades del subsòl de Barcelona de la Dra. Vinyes a la plataforma M.App Enterprise perquè des del seu nou portafoli Luciad generés el model 3D d'aquest àmbit espacial. El resultat tenia que ser el primer mapa tridimensional de totes les edificacions i infraestructures existents sota la superfície de la ciutat de Barcelona però, a causa de diverses circumstàncies, el producte final s'ha desviat de la seva concepció inicial.

Aquesta realitat ha fet que no sigui possible assolir tots els objectius definits en el treball. Aquests serien generar el model 3D complet de totes les edificacions i infraestructures localitzades sota la superfície de la ciutat de Barcelona, validar les dades de profunditat de les infraestructures a sota rasant publicades per la Dra. Vinyes amb les dades de profunditat que disposa l'empresa Acefat, i que l'alumne testegi les capacitats del software de Luciad a la plataforma M.App Enterprise. El fet de no haver pogut disposar finalment de la totalitat de dades del subsòl de Barcelona ha fet que s'hagi optat per generar un model 3D d'edificacions i infraestructures de la zona on s'han cedit les dades i s'hagi generat una segona modelització 3D de les edificacions de tot Barcelona a partir de la informació cadastral.

Els objectius que s'han pogut assolir han estat aquells que han aportat un valor afegit a l'alumne: enfortir el seu raonament lògic, la seva competència digital i la seva capacitat per resoldre problemàtiques; i desenvolupar la seva intel·ligència espacial.

L'elaboració del model 3D a partir de les dades de la Dra. Vinyes ha comportat, procedimentalment parlant, exportar les dades originals a diferents formats per poder discriminar geometries i treballar amb els objectes, extreure les dades de profunditat descrites a la tesi de la Dra. Vinyes i crear un nou atribut en cada capa d'informació anomenat "Profunditat", aplicar regles topològiques als elements lineals, generar zones d'influència a les xarxes de servei, assignar l'atribut "Profunditat" per fer les extrusions dels elements poligonals, i indicar a cada entitat participant que utilitzi el model digital del terreny perquè posicioni el seus respectius objectes a l'altitud que els pertoca. Pel que fa al model 3D generat a partir del cadastre, ha implicat convertir la informació original a format ESRI Shapefile, fer l'extrusió dels polígons a partir de l'atribut de "Profunditat" associat i indicar a la capa d'informació que utilitzi el model digital del terreny perquè posicioni el seus respectius objectes a l'altitud que els pertoca. Finalment s'ha definit la simbologia amb la que es representa cada entitat i s'ha aplicat a la visualització 3D.

A partir de les dades generades en aquesta tesina, l'empresa Hexagon generarà més endavant el model 3D amb la plataforma Luciad, completant així part dels objectius inicials.

El treball que s'ha realitzat enguany a partir de les dades de la Dra. Vinyes pot ser reprès per altres alumnes de futures edicions per a donar-li continuïtat i d'aquesta forma complir amb els objectius que no s'han assolit en el projecte actual i assolir nous reptes que se'n derivin de la modelització 3D del subsòl de la ciutat de Barcelona.

REFERÈNCIES TÈCNIC-CIENTÍFIQUES

Bibliografia

- Charro, C.; Valencia, V.W. (2007). Modelo tridimensional de la historia geológica del volcán Cotopaxi. Proyecto para la obtención del título de la ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Gil, C.; Pascual, P.; Rapún, M. (1998). La política de infraestructuras y equipamiento de la Unión Europea, en J. M^a. Mella Márquez (coord.), Economía y política regional en España ante la Europa del siglo XXI, Akal Ediciones, Madrid, págs. 461-483.
- Molina, J.M. (2007). Consideraciones del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals.
- Villarreal, J.L.; Montante, R.; Heras, L. (2000). Procesamiento Digital de Imágenes y Texto. Paper presented at the Guías y Textos de Cómputo, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vinyes, R. (2015). Barcelona oculta: la rellevància del subsòl en una gran ciutat contemporània. Tesis doctoral, UPC, Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori.

Enllaços web

- Acefat, AIE - <https://acefat.com/> [última visita 22/05/2020]
- Campus internacional de producción digital - <https://www.campusproducciondigital.com/> [última visita 26/05/2020]
- Crehana - <https://www.crehana.com/es/> [última visita 26/05/2020]
- DIVA-GIS - <https://www.diva-gis.org/> [última visita 01/06/2020]
- ICEMD - <https://www.icemd.com/> [última visita 26/05/2020]
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya - <https://icgc.cat/> [última visita 22/05/2020]
- INEGI - <https://www.inegi.org.mx> [última visita 08/06/2020]
- Hexagon - <https://hexagon.com/> [última visita 24/05/2020]
- Universitat Autònoma de Barcelona - <https://uab.cat/> [última visita 22/05/2020]